صناعة
ألواح الدوائر المطبوعة
مرحلة التصميم



تأليف

دكتور/ جابر السيد الأبيض

كلية الهندسة الإلكترونية – جامعة المنوفية



صناعة

ألواح الدوائر المطبوعة

مرحلة التصميم

Printed Circuit Board Design

تأليف

دكتور/ جابر السيد الأبيض

حقوق النشر
الطبعة الأولى ٢٠١٤
جميع الحقوق محفوظة للمؤلف

رقم الإيداع
(٢٠١٤/١٩٨٥٦)
الترقيم الدولي
(٩٧٨-٩٧٧-٩٠-٢١٤٢-٣)

لا يجوز نشر أى جزء من هذا الكتاب أو إعادة طبعه أو اختزان مادته العلمية أو نقله بأى طريقة إلكترونية أو ميكانيكية أو بالتصوير أو بأى وسيلة أخرى دون موافقة كتابية من المؤلف.ومن يخالف ذلك يعرض نفسه للمساءلة القانونية.

أحب الناس إلى الله
أنفعهم للناس

تقديم

عزيزي القاريء، هناك أربعة مراحل لتصنيع ألواح الدوائر المطبوعة وهى: مرحلة صناعة ألواح الدوائر المطبوعة الخام raw، ثم مرحلة تصميم الواح الدوائر المطبوعة، ثم مرحلة صناعة ألواح الدوائر المطبوعة العارية bare وهى المعروفة بمرحلة ما قبل التجميع، ثم مرحلة تجميع العناصر على ألواح الدوائر المطبوعة. المرحلة الأولى تختص بصناعة الالواح الخام والتي لا يتواجد فيها فنون الهندسة الألكترونية وبالتالي يمكننا حذفها من مراحل تصنيع ألواح الدوائر المطبوعة والاهتمام بمراحل : التصميم والتصنيع قبل التجميع والتجميع.

من خلال قراءة الكتب العالمية الصادرة في تصنيع ألواح الدوائر المطبوعة وجدت أنها عبارة عن كتب جامعة للتصميم والتصنيع والتجميع والفحص مجتمعة لألواح الدوائر المطبوعة وبالتالي افقدت هذه الفنون المذكورة زهوتها وجديتها وجاذبيتها ولم يستطع القاريء التمييز السريع بينها. بل وافقدت القاريء قدرة القراءة المتصلة والمميزة واستخلاص المعرفة.

وفي محاولة مني لطرح هذه العلوم التكنولوجية بطريقة مبسطة وسهلة قمت بتجزئة وتسهيل موضوع صناعة ألواح الدوائر المطبوعة على القاريء وإلقاء الضوء على كل مرحلة من مراحل صناعة الالواح المطبوعة على حده. قمت بإصدار الكتاب السابق تحت عنوان " صناعة ألواح الدوائر المطبوعة : مرحلة ما قبل التجميع " حيث تناولت فيه كافة السبل والاساليب التكنولوجية المستخدمة في صناعة ألواح الدوائر المطبوعة. وكذا كتاب "تكنولوجيا التثبيت السطحي للعناصر الإلكترونية" الذي يعتبر طفرة في تجميع العناصر سطحية التثبيت على ألواح الدوائر المطبوعة.

وهانذا أعود مرة أخرى لموضوع صناعة ألواح الدوائر المطبوعة : مرحلة التصميم، حيث اصدرت في السابق كتاب: برنامج تصميم الدوائر المطبوعة عام ٢٠٠٨ميلادية يوضح سبل ومهارات استخدام أحد البرامج الموجودة وقد اخترت حينئذ برنامج EAGLE، إلا أنني وجدت أن المصمم لا يكفيه معرفة وتشغيل أحد البرمجيات فقط ولمجرد التشغيل، بل يلزمه التعرف والإلمام بإعتبارات وتعليمات والقضايا التي تواكب تصميم الشكل العملي لنوعيات مختلفة من الدوائر الالكترونية. فمثلا

الدوائر الرقمية والتماثلية ودوائر الترددات الراديوية والدوائر العاملة في حيز الترددات العالية والمنخفضة وهناك من الدوائر الأخرى التي تستلزم احتياطات معينة لعرض المسار النحاسي والمسافات البينية ومستويات التغذية، كل هذه الدوائر المختلفة لا يستطيع المصمم تجاهل قضاياها أو عدم أخذها في الاعتبار. ولذلك كان لزاماً على المصمم بجانب معرفته ومهارته في استخدام وتشغيل أى برنامج لتصميم ألواح الدوائر المطبوعة أن يكون ملماً ومطلعاً على قضايا الدوائر المطلوب تصميم لوح مطبوع لها، ولا يكفيه هذا بل يجب أن يكون لديه التفسير الصحيح واختيار الحلول المناسبة لحل هذه القضايا. وفي ظل إمكانيات شبكة المعلومات الدولية الهائلة يجب على المصمم الإطلاع على الملفات الصناعية التي تخرج من الشركات ومراكز البحوث والمقالات والموضوعات الخاصة بتصميم بعض الدوائر الإلكترونية.

وبناء على ما سبق خصصت هذا الكتاب للكتابة عن مرحلة تصميم ألواح الدوائر المطبوعة. وهى المرحلة التي يتم فيها انتاج العمل الفني أو لوح الطباعة الضوئية أو القناع والذي يحتوي تشكيل المسارات والوسائد النحاسية التي تمثل التوصيلات الداخلية بين عناصر الدائرة وبين الدائرة ودوائر أخرى بما يسمى الشكل العملي . وفي حالة ألواح الدوائر المطبوعة المتعددة الطبقات لتحقيق التوصيلات الداخلية الكثيفة للدائرة دون حدوث تقاطعات بين بعضها البعض كان لزاماً على المصمم تحقيق عدد من التوصيلات بين هذه الطبقات المتعددة من خلال نقاط عبور متعددة vias .

يتكون هذا الكتاب من ستة أبواب وملحق. الباب الأول عبارة عن مقدمة لموضوع ألواح الدوائر المطبوعة. في هذا الباب تم دراسة أساسيات الألواح المطبوعة من ناحية كيفية ربط العناصر الالكترونية في ألواح الدوائر المطبوعة وطرق تثبيتها وتم سرد أنواع أغلفة العناصر سواء التقليدية منها أم سطحية التثبيت SMD. ثم يقوم المؤلف بإستعراض مميزات الالواح المطبوعة ونبذة تاريخية عن كيفية إكتشافها وتداولها وتطويرها وتكوينها ثم يقوم بتصنيفها من ناحية عدد طبقاتها ثم من ناحية تطبيقاتها. بعد سرد نقاط المدروسة في هذا الباب ....يتم التمويه عن أن القاريء لا يعرف المصطلحات التى يتداولها خلال تشغيل البرنامج وبالتالي لابد من توجيه نظره إليها في هذا الباب.

والباب الثاني

خصص هذا الباب تحت مسمى "العناصر المثبتة على لوح الدائرة المطبوعة" نظراً لأهميته بالنسبة للطالب الذي يبدأ دراسته في علم هندسة الالكترونيات. حيث ألمح للطالب المبتديء أن عناصر الشكل التخطيطي Schematic للدائرة الالكترونية ليست بكاملها سوف تثبت على لوح الدائرة المطبوعة بل هناك عناصر سوف تثبت على واجهة الجهاز وأخرى على مؤخرته وعناصر أخرى سيتم تثبيتها مستقلة داخل كابينة الجهاز نظراً لخصائصها واحتياجها في التشغيل.

أما الباب الثالث

يَتضمّنُ هذا الباب التصميمُ والشكل العملي layout بشكل متسع منظورَ أجهزةِ النظامِ الكليّة، حيث تتضمّنُ لَيسَ فقط الدائرة المطبوعة لكن كُلّ عنصر في شكلِه النهائيِ. اعتبارات التصميم والشكل العملي layout يَجِبُ أيضاً أَنْ تُخاطبَ العلاقة البينية وتفاعلاتِ العناصر وتجميع كافة أنحاء النظامِ. ومن المعروف أن تصميم اللوح هو السمةُ المهمةُ جداً مِنْ تكنولوجيا صناعة الدوائر الإلكترونيةِ المطبوعةِ. وغالباً، ما يستخف أو يقلل المصممونُ من تقدير الوقتُ والجُهدُ المطلوبان لتنفيذ عمل جيد. حيث يؤدي هذا إلى تأخيرَ في الإنتاجِ الجديد والتكلفة الكبيرة المتخفية أثناء مراحل الانتاج. إنّ المتطلباتَ الفنية التي من المحتمل أَنْ تُؤثّرَ على تصميمِ أى من الأجهزةِ الكهربائيةِ منها البيئية والوظيفية والكهربائية والميكانيكية.

الباب الرابع

إذا كنا قد أعتبرنا أننا قد وضعنا كافة الاعتبارات سواء البيئية منها أوالوظيفية أوالكهربائية أوالميكانيكية كما في الباب الثالث، وأعتقدنا بأنها ستفي بمتطلبات التنفيذ الجيد لكافة الدوائر الالكترونية فقد نكون قد وقعنا في خطأ فادح. ذلك لأن مجال تصميم الدوائر الالكترونية مجال عريض به متغيرات كثيرة مثل النطاقات الترددية وشكل الإشارة (تماثلية ورقمية) والقدرة الكهربائية ومتغيرات أكثر خصوصية لبعض الدوائر التطبيقية. ولذا كان هذا الباب لإسقاط الضوء على اعتبارات التصميم لبعض الدوائر الالكترونية الخاصة. إلا أننا نشير بأن هذا الباب لا يكفي والمطلوب من القاريء متابعة الاطلاع على التقارير والملفات الصناعية للدوائر المنتجة من شركات مختلفة أخرى لتوسيع مداركه وصقل خبرته في التصميم.

الباب الخامس

وحيث أن العمل الفني يعتبر الخطوةُ الأولى لعمليةِ تصنيع لوح الدائرة المطبوعة لما يتضمنه من عمليات تصنيع اللوح المطبوع، لعدد من الأقنعة لتنفيذها، مما لها من تأثير عظيم على المنتج النهائي، فإن هذا الباب سوف يتضمن فنونه المختلفة. توليد أو إنتاج العمل الفني والوصول به إلى التطوّرِ الضروريِ معتمد بشدّةُ على المساحة (مقاس اللوح) والدقة. لذا، فإن أهمية العمل الفني المتقن لا يَجِبُ أنْ يستخف به. مشاكل مثل التسجيلِ الخاطئِ (التطابق الغير دقيق بين طبعات اللوح المطبوع) الذي يؤدي إلى عدم تتطابق طبعات أقنعة لوح الدائرة المطبوعة، أوالحلقاتَ المتبقية المكسورة annular rings أَو المباعدة الحرجةَ جداً تصبح ملحوظة على ألواح الدوائر المطبوعة في أغلب الأحيان نتيجة للعمل الفني السيئِ.

العمل الفني ويطلق عليه أيضاً أداة الطباعة الضوئية phototool وكذا القناع mask وملف جربر وهو أساساً أداة تصنيع إستعملتْ في صِناعَة توزيع الأسلاك المطبوعة وهو ما يعرف إستثنائياً بنمط توصيلات الدائرة (الشكل العملي layout) الّذي سَيشارك في تشكيل الطبقة النحاسية الملتصقة على اللوح المدعوم.

الباب السادس

هذا الباب يختص بالتقديم لأحد البرمجيات العاملة في تصميم ألواح الدوائر المطبوعة. و لايخفى على القاريء أن من يلجأ الآن إلى تنفيذ ألواح الدوائر المطبوعة بطريقة يدوية يعتبر نفسه خارج العصر، بل ويقطع صلته بالعصر تماماً. إن عنوان تقدم الأماكن التعليمية والصناعية وبالتالي الأفراد فيهما هو اتباع الاسلوب الحديث في تنفيذ الدوائر المطبوعة، وحتى أنه لو حالفه الحظ ونجح في تشغيل دائرة قام بتنفيذها بالاسلوب اليدوي فإن الاسواق تلفظه لأنه لا مكان في عالمنا اليوم لمثل هذا التأخر.

ونوجه نظر القاريء إلى أن هذا الباب متغير طبقاً لأختيار البرنامج الذي سوف نقوم بتطبيقه، مثلاً هذا العام نقوم باستخدام برنامج EAGLE، وفي عام آخر سنقوم بتطبيق برنامج آخر قد يكون P-CAD أو EASY PCB أو ALTIUM أو ....الخ.

الملاحق :

هناك ثلاث ملاحق تم ضمها في هذا الكتاب وهى:

ملحق (أ) : يتضمن تنفيذ تمرين على ألواح الدوائر المطبوعة ذات الشرائط النحاسية المثقبة وتمرين على ألواح الدوائر المطبوعة ذات الوسائد النحاسية المثقبة.

ملحق(ب) : يتضمن تنفيذ العمل الفني مباشرة على الطبقة النحاسية للوح المطبوع.

ملحق (جـ): يتضمن نماذج التمارين التعليمية وامتحان نهاية الفصل الدراسي الثاني للعام ٢٠٠٨/٢٠٠٩ والامتحانات العملية بصالة الحاسب.

وأخيراً أهدي هذا الكتاب لمن يبحث عن المعرفة وأشكر اسرتي الكريمة لما تحملته من غيابي عنها وتركيزي الذهني والفكري لإنهاء هذا الكتاب، كما اتوجه بالشكر للمهندس محمد جابر السيد محمد الابيض بالشركة المصرية للإتصالات على مساعداته الخلاقة في إخراج هذا الكتاب.

د.جابر السيد الأبيض

الأستاذ المتفرغ

بكلية الهندسة الإلكترونية بمنوف

جامعة المنوفية

٤ مارس ٢٠١٤

Drelabyad@hotmail.com

المحتويات

اسم الكتاب	أ
رقم الإيداع	ت
أحب الناس	ج
تقديم	خ
محتويات الكتاب	ش
(١) مقدمة عن ألواح الدوائر المطبوعة **Introduction to Printed Circuit Boards**	١
١-١ مقدمة	٣
١-٢ مكونات لوح الدائرة المطبوعة	٤
١-٢-١ الطبقة الموصلة	٥
١-٢-٢ اللوح العازل المدعوم	٦
١-٣ تصنيفِ ألواح الدوائر المطبوعة Classification of Printed Circuit Boards	٨
١-٣-١ ألواح الدوائر المطبوعة أحادية الجانب النحاسي Single-sided printed Circuit Boards	٩
١-٣-٢ ألواح الدوائر المطبوعة ثنائية الجانب النحاسي Double-sided Printed Circuit Boards	١٠
١-٣-٣ ألواح الدوائر المطبوعة متعددة الطبقات النحاسية Multi-layer Boards	١٣
١-٤ ألواح الدوائر المطبوعة الصلّبة والمرنة Rigid and Flexible Printed Circuit Boards	١٦
١-٥ أصنافِ ألواح الدائرة المطبوعة من ناحية التطبيق	١٨
١-٥-١ خصائصِ ألواح الدوائر المطبوعة التماثلية والراديوية والميكرويفية Characteristics of Analog, RF, and Microwave PCBs	١٩
١-٥-٢ خصائصِ ألواح الدوائر المطبوعة المؤسسة على الرقمية Characteristics of Digital-Based PCBs	٢٤
١-٦ طرقِ لحام العناصر بألواح الدوائر المطبوعة	٢٨

١-٦-١ اللحام اليدوي Manual Soldering	٢٨
١-٦-٢ اللحام بالموجة Wave Soldering	٢٩
١-٦-٣ اللحام بالافران Reflow Oven Soldering	٣٠
١-٧ طرقِ تثبيت العناصر بألواح الدوائر المطبوعة METHODS OF ATTACHING COMPONENTS	٣١
١-٧-١ تثبيت من خلال الفتحة فقط Through-Hole Only	٣٢
١-٧-٢ تثبيت خلال الفتحات مخلوطة مع التثبيت السطحي Through-Hole Mixed with Surface-Mount	٣٢
١-٧-٣ تثبيت سطحي على جانب واحد فقط Surface-Mount, One Side Only	٣٣
١-٧-٤ تثبيت سطحي على كلا الجانبين Surface-Mount, Both Sides	٣٣
١-٧-٥ تثبيت سطحي على كلا الجانبين مع التثبيت خلال الفتحات Surface-Mount, Both Sides with Through-Hole	٣٣
١-٨ أنواع أغلفة العناصر COMPONENT PACKAGE TYPES	٣٥
١-٨-١ التغليف التقليدي Conventional packaging (Through-Hole Mount packages)	٣٥
١-٨-٢ تغليف العناصر السطحية Surface Mount Devices	٣٧
١-٨-٣ التغليف ذو الخطوة الدقيقة Fine Pitch	٣٩
١-٨-٤ تغليف الرقاقة على لوح الدائرة المطبوعة مباشرة COB	٤٠
١-٨-٤-١ التغليف الشريطي TAB	٤١
١-٨-٤-٢ الرقاقة المقلوبة Flip Chip	٤٢
١-٨-٤-٣ القالب المربوط بالاسلاك Wire-Bonded Bare Die	٤٣
١-٨-٥ تغليف مصفوفة الكرات الشبكية BGA	٤٥
(٢) العناصر المثبتة على لوح الدائرة المطبوعة	٤٩

The mounted components on Printed Circuit Board	
٢-١ مقدمة	٥١
٢-٢ محتويات ملف التصنيع للأجهزة الإلكترونية	٥٣
٢-٢-١ الشكل التخطيطي للدائرة المراد تنفيذها و معرفة نظرية تشغيلها	٥٣
٢-٢-٢ قائمة العناصر أو الأجزاء أو فاتورة المواد	٥٣
٢-٢-٣ صفحات البيانات لكل عنصر	٥٤
٢-٢-٤ تحديد نوع مادة وعدد طبقات لوح الدائرة المطبوعة	٥٥
٢-٢-٥ تحديد العناصر ذات التثبيت المستقل	٥٦
٢-٢-٦ تحديد عناصر الواجهة الأمامية	٥٦
٢-٢-٧ تخطيط لوح واجهة الجهاز	٥٦
٢-٢-٨ تحديد عناصر مؤخرة الجهاز	٥٦
٢-٢-٩ تخطيط لوح مؤخرة الجهاز	٥٦
٢-٢-١٠ تحديد عناصر لوح الدائرة المطبوعة	٥٧
٢-٢-١١ تصميم لوح الدائرة المطبوعة	٥٧
٢-٢-١٢ تنفيذ لوح (ألواح) الدائرة المطبوعة	٥٧
٢-٢-١٣ تنفيذ كابينة الجهاز	٥٨
٢-٢-١٤ رسم كافة الأشكال الهندسية المستخدمة	٥٨
٢-٢-١٥ توصيل ضفيرة الجهاز wiring harnesses	٥٨
٢-٢-١٦ كتابة قائمة بتعريف الأسلاك المستخدمة في الضفيرة	٥٨
٢-٢-١٧ اختبار تشغيل الجهاز	٥٨
٢-٣ ملف تصنيع وحدة تغذية ٥ فولت مستمر منتظم	٦٠
٢-٣-١ نظرية التشغيل لدوائر تغذية القدرة الكهربية	٦٠
٢-٣-٢ الشكل التخطيطي (النظري) لدائرة التمرين	٦١
٢-٣-٣ قائمة بالعناصر المطلوبة BOM	٦١
٢-٣-٤ البيانات الفنية لكل عنصر	٦٣

٢-٣-٥ جدول بالعناصر ذات التثبيت المستقل داخل كابينة الجهاز	٧٧
٢-٣-٦ جدول بعناصر الواجهة الأمامية	٧٨
٢-٣-٧ تخطيط الواجهة الأمامية للجهاز	٧٩
٢-٣-٨ جدول بعناصر مؤخرة الجهاز	٨٠
٢-٣-٩ تخطيط مؤخرة الجهاز	٨١
٢-٣-١٠ جدول بالعناصر المثبتة على لوح الدائرة المطبوعة	٨١
٢-٣-١١ شكل جانب العناصر (القمة) للوح الدائرة المطبوعة	٨٣
٢-٣-١٢ شكل جانب اللحام (القاع) للوح الدائرة المطبوعة	٨٥
٢-٣-١٣ شكل قناع نقاط اللحام	٨٦
٢-٣-١٤ شكل إفراد الكابينة	٨٧
٢-٣-١٥ شكل قمة الكابينة و جدول تعريف و توزيع الوحدات بها	٨٩
٢-٣-١٦ شكل توصيلات الضفيرة داخل الكابينة	٩٠
٢-٣-١٧ قائمة بتعريف الأسلاك المستخدمة في الضفيرة	٩٠
٢-٣-١٨ شكل منظوري للكابينة	٩١
٢-٣-١٩ رسم مساقط الكابينة	٩٣
٢-٣-٢٠ اختبار تشغيل الجهاز	٩٣
تمارين	٩٥
(٣) إعتبارات تصميم الشكل العملي (جانب اللحام) لألواح الدوائر المطبوعة Layout Design Considerations	٩٧
٣-١ الإعتبارات العامة لتصميم الألواح المطبوعة	٩٩
٣-١-١ العناصر الهامة للتصميمِ	١٠١
٣-١-٢ البارامترات الهامة للأداءِ	١٠٢
٣-٢ الإعتبارات الميكانيكية للتصميمِ	١٠٢

٣-٢-١ أنواعِ الألواحِ المطبوعة	١٠٢
٣-٢-١-١ تحديد مساحة العنصر	١٠٥
٣-٢-١-٢ حساب الحجم أو الكمية	١٠٦
٣-٢-١-٣ مقدرة الوصول للعناصر القابلة للضبط أو الاستبدال	١٠٧
٣-٢-١-٤ التثبيت الأفقي أَو العمودي للعناصر	١٠٧
٣-٢-١-٥ مقاس اللوح	١١٠
٣-٢-١-٦ الأبعاد والتفاوت	١١٥
٣-٢-١-٧ التَقسيم أو التجزئة	١١٦
٣-٢-٢ أساليب تثبيت اللوح	١١٨
٣-٢-٣ تَوجيه اللوح والحفظ	١١٩
٣-٢-٤ أطراف الدخل/الخرج للوح	١٢١
٣-٢-٥ إنتزاع او استخراج اللوح	١٢٣
٣-٢-٦ إختبار وخدمة اللوح	١٢٤
٣-٢-٧ الإجهاد الميكانيكي	١٢٤
٣-٢-٨ سُمك اللوح	١٢٤
٣-٢-٩ المواصفات والمعايير الهامة	١٢٥
٣-٣ الإعتبارات الكهربائية للتصميمِ	١٢٥
٣-٣-١ أبعاد الموصل	١٢٥
٣-٣-٢ المقاومة	١٢٦
٣-٣-٣ إعتبارات السعةِ	١٣١
٣-٣-٤ الحث الكهربائي لموصلات اللوح المطبوع PCB	١٣٥
٣-٣-٥ الإجهادات الكهربائية العالية	١٣٦
٣-٤ أنماط أو أشكال الموصل	١٣٦
٣-٥ قواعد تنسيبِ العنصر	١٣٧
٣-٥-١ عرض وسُمكِ الموصل	١٣٨
٣-٥-٢ مباعدة الموصل	١٤٠

٣-٥-٣ أشكال الموصل	١٤٢
٣-٥-٤ توجيه الموصل والمواقعِ	١٤٢
٣-٥-٥ موصلات التغذية والأرضي	١٤٤
٣-٦ إعتبارات الصناعة والتجميع	١٤٨
٣-٧ العوامل البيئية	١٥٠
٣-٧-١ الإعتبارات الحرارية	١٥١
٣-٧-٢ التلوّث	١٥٢
٣-٧-٣ الصدمة والإهتزاز	١٥٣
٣-٨ متطلبات التَبريد وكثافةِ التغليف	١٥٥
٣-٨-١ مسربات الحرارةِ	١٥٥
٣-٨-٢ كثافة التغليف	١٥٦
٣-٨-٣ شكل التغليف والخواصِ الطبيعيةِ	١٥٨
٣-٩ تصميم الشكل العملي	١٦٢
٣-٩-١ نظام شبكةِ الرسم	١٦٤
٣-٩-٢ مِقياس الشكل العملي	١٦٥
٣-٩-٣ رسم الشكل العملي/ التصميم	١٦٦
٣-٩-٤ إعتبارات التخطيطِ العملي	١٦٧
٣-١٠ قائمة تدقيق تصميمِ التخطيطِ العملي	١٦٨
٣-١٠-١ الاعتبارات العامة	١٦٩
٣-١٠-٢ الإعتبارات الكهربائية	١٧٠
٣-١٠-٣ الإعتبارات الميكانيكية	١٧٠
٣-١١ التوثيق	١٧١
٣-١١-١ ملف التوثيقِ	١٧٣
٣-١٢ المعايير المفيدة	١٧٤
تمارين	١٧٦

(٤) إعتبارات التصميم للدوائر الخاصة Design Considerations For Special Circuits	١٧٧
٤-١ قواعد تصميمُ الدوائرِ التماثلية (التناظرية)	١٧٩
٤-١-١ تنسيب العنصر	١٧٩
٤-١-٢ موصلات الاشارة	١٨٠
٤-١-٣ موصلات التغذية والأرضي	١٨٨
٤-١-٤ القواعد العامة لتصميمِ اللوح المطبوع للدوائر التماثلية	١٨٩
٤-٢ قواعد التصميمُ للدوائرِ الرقميةِ	١٩٠
٤-٢-١ خط الإرسالِ (التراسل)	١٩١
٤-٢-٢ مشاكل في تصميمِ ألواح الدوائر المطبوعة للدوائرِ الرقميةِ	١٩٣
٤-٢-٢-١ الإنعكاسات	١٩٤
٤-٢-٢-٢ تداخل الحديث	١٩٧
٤-٢-٢-٣ ضوضاء خط الأرضي والتغذية	٢٠٠
٤-٢-٢-٤ التداخل الكهرومغناطيسي مِنْ الضوضاءِ النَابِضةِ	٢٠١
٤-٣ قواعد التصميمُ لدوائرِ التردد العالي	٢٠٢
٤-٤ قواعد التصميمُ لدوائرِ النبضِ السريع	٢٠٤
٤-٤-١ إعتبارات الممانعة المحكومة	٢٠٧
٤-٥ قواعد التصميمُ لدوائرِ الميكروويفِ	٢١٠
٤-٥-١ تعريفات أساسية	٢١٠
٤-٥-٢ الخَطّ الشريطِي والخَطِّ الشريطي الدقيق	٢١٢
٤-٥-٢-١ الخَطّ الشريطِي	٢١٢
٤-٥-٢-٢ الخَطّ الشريطي الدقيق	٢١٥
٤-٥-٣ خطوط الإرسالِ كعناصر سلبية	٢١٨
٤-٥-٤ إعتبارات التصميم العامة لدوائرِ المايكرويفِ	٢٢٢
٤-٦ قواعد التصميمُ لدوائر تغذية القدرة الكهربائيةِ	٢٢٣

٤-٦-١ فَصْل دوائرِ القدرة الكهربائيةِ في الأجزاء العالية والمنخفضة	٢٢٤
٤-٦-٢ سُمك المادة الأساسية	٢٢٥
٤-٦-٣ سُمك ورقِ النحاس الرقيق	٢٢٥
٤-٦-٤ عرض الموصل	٢٢٥
٤-٦-٥ الاسقاط الأومي للجهد	٢٢٦
٤-٦-٦ الإعتبارات الحرارية	٢٢٦
٤-٧ بناء التوصيل البيني عالي الكثافةِ	٢٢٧
٤-٧-١ دوافع التوصيل البيني عالي الكثافة	٢٣٠
٤-٧-١-١ الكثافة	٢٣٠
٤-٧-١-٢ عناصر الخطوة الدقيقة	٢٣١
٤-٧-١-٣ مصفوفات مساحة الدخل/الخرج العالية	٢٣١
٤-٧-٢ فوائدِ التوصيلات البينية عالية الكثافة	٢٣٢
٤-٧-٣ تَصميم التوصيلات البينية عالية الكثافة	٢٣٢
٤-٨ التداخل/التوافق الكهرومغناطيسي	٢٣٥
٤-٩ معايير مفيدة	٢٣٩
تمارين	٢٤٠
(٥) إنتاج العمل الفني (أداة الطباعة الضوئية) PCB Artwork Generation	٢٤١
٥-١ ما هو العمل الفني؟	٢٤٣
٥-٢ نظرة عامة على العمل الفني اليدويِ	٢٤٤
٥-٢-١ الرسم بالحبرِ على لوح كرتوني ابيض	٢٤٤
٥-٢-٢ لصق الشرائط حالكة السواد على ورق أساسيٍ شفّافِ	٢٤٦
٥-٢-٣ الشريط الأحمر والأزرق على ورق البوليستر الشفاف	٢٥٢

٥-٣ التعليمات العامة للتصميم لإعداد العمل الفني	٢٥٣
٥-٣-١ تكيف الموصل وفقاً للظروف	٢٥٣
٥-٣-٢ توجيه الموصل	٢٥٥
٥-٤ تعليمات انتاج العمل الفني	٢٦١
٥-٤-١ منطقةَ اللاموصل	٢٦١
٥-٤-٢ فتحة مركز الوسادة	٢٦٢
٥-٤-٣ نقاط ربط وسادة اللحام والموصل	٢٦٢
٥-٥ تحضير الفيلمِ الرئيسي	٢٦٣
٥-٥-١ الفيلم الفوتوغرافي	٢٦٤
٥-٥-٢ التعرّض للضوء خلال آلةِ التصوير	٢٦٨
٥-٥-٣ الغرفة المُظلمة	٢٧٠
٥-٥-٤ تحميض أو إظهار الفيلم	٢٧٢
٥-٣ التوليد الآلي للعمل الفني	٢٧٥
٥-٤ التصميم بمساعدة الحاسبُ	٢٧٧
٥-٤-١ متطلبات النظامِ	٢٧٨
٥-٤-١-١ الأجهزة Hardware	٢٧٩
٥-٤-١-٢ البرمجيات Software	٢٨١
٥-٥ التشغيل الاساسي للتصميم بمساعدة الحاسب	٢٨٢
٥-٥-١ خطوات الشكل العملي	٢٨٦
٥-٥-١-١ دخولِ الشكل التخطيطي	٢٨٧
٥-٥-٢ مدير المكتبةِ	٢٨٨
٥-٥-٣ تنسيب العنصر	٢٩٠
٥-٥-٣-١ تنسيب يدوي	٢٩١
٥-٥-٣-٢ تنسيب آلي مع تفاعلِ المشغلِ	٢٩٢
٥-٥-٤ توجيه الموصل	٢٩٥
٥-٥-٤-١ التوجيه الآلي	٢٩٦

٥-٥-٥ التَدقيق	٣٠١
٥-٥-١ تحقّيق / تدقيق قاعدةِ التصميمِ	٣٠٢
٥-٥-٢ التدقيق في إنتهاكات قاعدةِ التصميمِ	٣٠٤
٥-٥-٣ خطوط الدليل العامة لتَجَنُّب أخطاء التَصميم	٣٠٥
٥-٥-٤ تدقيقات التعريفِ	٣٠٦
٥-٦ أتمتة التصميمِ	٣٠٧
٥-٦-١ كيف نحكم على أنظمة CAD ؟	٣٠٩
٥-٧ اليدوي مقابل الأتمتةِ في تصميمِ اللوح المطبوع	٣١١
٥-٨ الراسم الضوئي	٣١٢
٥-٨-١ راسم الضوء الموجه	٣١٣
٥-٨-٢ الراسم بأشعة الليزر	٣١٥
٥-٨-٣ التعامل مع الرواسم الضوئية	٣١٧
٥-٩ معايير مفيدة	٣١٩
تمارين	٣٢٠
(٦) برنامج تصميم الدوائر المطبوعة PCB Software	٣٢١
٦-١ مقدمة	٣٢٣
٦-٢ لماذا تم اختيار هذا البرنامج	٣٢٤
٦-٣ درجة تأهيل مستخدم البرنامج	٣٢٤
٦-٤ المصطلحات الفنية	٣٢٥
٦-٥ واجهة التحكم	٣٣٦
٦-٥-١المكتبات	٣٣٧
٦-٥-٢ قواعد التصميم	٣٤٢
٦-٥-٣ برامج لغة المستخدم	٣٤٤

٦-٥-٤ المخطوطات أو النصوص	٣٤٥
٦-٥-٥ وظائف التصنيع بمساعدة الحاسب	٣٤٦
٦-٥-٦ المشاريع	٣٤٨
٦-٦ معاني أيقونات نافذة محرر الرسم التخطيطي	٣٤٩
٦-٧ معاني أيقونات نافذة محرر اللوح المطبوع	٣٥٩
تمارين	٣٦٧
الملاحق	٣٦٩
الملحق رقم (أ) : تعريف الألواح المطبوعة ذات الشرائط النحاسية المثقبة وذات الوسائد المثقبة	٣٧١
الملحق رقم (ب) :تنفيذ العمل الفني مباشرة على الطبقة النحاسية للوح المطبوع	٣٨٣
الملحق رقم (جـ) :نماذج التمارين التعليمية وامتحان نهاية الفصل الدراسي الثاني للعام ٢٠٠٨/٢٠٠٩ والامتحانات العملية بصالة الحاسب	٣٩١

الباب الأول

مقدمة عن ألواح الدوائر المطبوعة
Introduction
To Printed Circuit Board

الباب الأول

مقدمة عن ألواح الدوائر المطبوعة
Introduction
To Printed Circuit Board

١-١ مقدمة:

يعتبر لوح الدائرة المطبوعة منتج مرحلي و ليس نهائي. فهو يحتاج دائماً إلى توصيله بالعالم الخارجي للحُصُول على القدرة الكهربية، أو تبادلُ المعلومات، أَو عْرضُ النَتائِجَ. فهو سَيَحتاجُ إلى تثبيته داخل علبة جهاز أو يَنزلقُ كرفّ لداخل إطار لأدائه وظيفةُ. وقَدْ يَكُون هناك مناطقَ تَتطلّبُ قيوداً عند الارتفاع عن سطح اللوح (مثل حامل البطاريةِ المثبت في علبة الجهاز أَو القضبانِ في هيكل اللوح و المفترض انزلاقه فيها).

و يجدر بالذكر أن تنفيذ الثقوب والحفاظ على مساحات خارجها ربما تكون مطلوبةً في اللوح للتجميع أو لعمليات التصنيع. كُلّ هذا يعتبر عوامل خارجية مَنْ الضَّرُوري أَنْ يتم التعرّفَ عليها قبل إمكانية تصميم لوح الدائرة المطبوعة، وتتضمن أيضاً الأبعادِ القصوى للوح ومواقعِ المقابس connectors، وعناصر البيان أو الإظهار displays، وقطع التثبيت المعدنيةmounting brackets، أَو أيّ ميزّات خارجية أخرى.

وتشمل مواصفات لوح الدائرة المطبوعة سُمكَ النحاسِ المثبت على سطح اللوح. كما أن كمية التيارِ المحمول باللوح تعطي إشارة لهذا السُمكَ. وعادة يكون سُمك الطبقة النحاسية قياسيُ.

أيضاً يُمْكِنُك أَنْ تَختارَ بين أنواعَ الألواح المختلفةِ بنوع المادّةِ المصنع منها وعددِ الطبقاتِ النحاسية.

لوح توزيع الأسلاك المطبوعة Printed Wiring Board أَو لوح دائرة مطبوعة Printed Circuit Board. التعبير "مطبوع printed" أصبح محبب لأن المناطقَ الموصّلةَ تكون عادة مولدة بواسطة عملية الطِباعَة مثل طِباعَة الشاشةِ screen printing أَو الحفر الضوئي photo-engraving ، الذي يكون عموماً مستخدم لطِباعَة الرسومات أَو النقوش.

١-٢ مكونات لوح الدائرة المطبوعة:

يتكون لوح الدائرة المطبوعة الخام من ثلاثة مواد هم:

١-طبقة رقيقة من مادة موصلة (النحاس) ومصطلحاتها :
قشرة نحاسية copper clad، وورق النحاس الرقيق copper fiol
٢-لوح عازل متماسك ويطلق عليه اللوح المدعوم Laminate
٣-مادة لاصقة كما بالشكل رقم (١-١)



تكوين لوح الدائرة المطبوعة

شكل (١-١) يوضح مكونات لوح الدائرة المطبوعة العارية

١-٢-١ الطبقة الموصلة:

وطبقة النحاس الموصلة تعتبر الجزء الهام في تصميم الدائرة المطبوعة حيث أنها الجزء الذي يحقق مسار الموصلات التي تلبي المتطلبات الكهربائية للنظام أو الدائرة المطبوعة. وطبقة النحاس هذه متاحة بأبعاد مختلفة للسمك وكل سمك تم تعريفه بمقدار وزنه لكل قدم مربع ووحدة الوزن المستخدمة هي الأونس.

فإذا كان المطلوب لوح دائرة مطبوعة خام ذو طبقة نحاسية بسمك ٠،٠٠١٤ بوصة لتنفيذ دائرة ما فإن مواصفات هذا السمك عند شرائه يعرف بالوزن والذي يساوي واحد أونس/قدم مربع والجدول (١-١) التالي يعطى قائمة لبعض أوزان النحاس بالأونس/قدم مربع والأبعاد المختلفة للسمك المناظرة لها .

جدول (١-١) يوضح أبعاد مختلفة للسمك وأوزان طبقة النحاس

السمك بالبوصة	الوزن بالأونس/قدم^{٢}	السمك بالبوصة	الوزن بالأونس/قدم^{٢}
٠.٠٠٠١٨	٨/١	٠.٠٠٢٨	٢ *
٠.٠٠٠٣٥	٤/١	٠.٠٠٤٢	٣
٠.٠٠٠٥٣	٨/٣	٠.٠٠٥٦	٤
٠.٠٠٠٧	٤/١ *	٠.٠٠٧٠	٥
٠.٠٠١٤	١ *	٠.٠٠٨٤	٦

* شائع الاستخدام

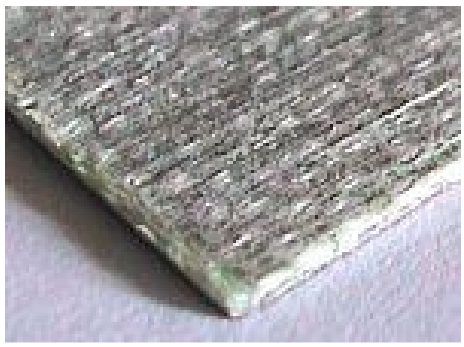
يجدر بالذكر أن سمك طبقة النحاس غير متساوي على طول مساحة لوح الدائرة المطبوعة ولذا يلتزم بالوزن لكل وحدة مساحة لان ذلك يتوقف أيضاً على تكنولوجيا التصنيع وإمكانياتها وتكلفتها. إلا أن هناك تكنولوجيا ذات تكلفة عالية تستخدم في التحكم في سمك طبقة النحاس ويخصص إنتاجها لتطبيقات الميكروويف والشرائح المتناهية السمك والمعروفة بالمصطلح microstrip circuits or striplines.

١-٢-٢ اللوح العازل المدعوم:

الأغلبية العظمى من الدوائر المطبوعة تستخدم المادة العازلة (الطبقة التحتية) المعروفة بالمختصر FR4 أو الطبقة التحتية الورقية FR-2 .

و يجدر بالذكر أن لوح الدائرة المطبوعة المعروف تجاريا بالمختصر(FR4) مصنع من ألياف زجاجية على هيئة طبقات ملتصقة بالراتنج. و اللوح المصنوع من هذه المادة سمكه القياسي ١.٦ مليمتر (تقليدي) أو بسمك ٠.٨ مليمتر. و الشكل التالي (١-٢) يوضح هذا النوع.

أما لوح الدائرة المطبوعة المصنع من الفينول Phenolic الشكل رقم (١-٣) فيختلف عن الألياف الزجاجيةِ بأنه أرخص. ويعتبر اللوح ذو السُمك ١.٦ مليمترَ (تقليدي) متماسك أَو ٠.٨ مليمتر.



شكل(١-٢) يوضح مادة العزل المستخدم في لوح الدائرة المطبوعة المصنع من الألياف الزجاجية



شكل(١-٣) يوضح مادة العزل المستخدم في لوح الدائرة المطبوعة المصنع من الفينول

بعض الدوائر المطبوعة المستخدمة في نطاق الترددات العالية RF تستخدم البلاستيكات المتميزة بخصائص معينة لكى تتجنب إعادة تنغيم الراديو، مثل :

Rogers 4000, Teflon, Duroid, Polymide

الدوائر المطبوعة المستخدمة في الفراغ أو الفضاء الخارجي أو في المركبات الفضائية غالباً ما تستخدم ألواح ذات قلوب صلبة من الالومنيوم أو النحاس للتخلص من حرارة العناصر الإلكترونية.

ليست كل ألواح الدوائر المطبوعة صلبة متماسكة. البعض منها صمم لكى يكون مرناً بالكامل والبعض الآخر صمم لدرجة مرونة جزئية. هذه الفئة من الألواح، أحياناً تسمى " flex " أو "-rigid

flex " على التتابع، وهى صعبة التصنيع ولكن لها العديد من التطبيقات. أحياناً تكون الدوائر المطبوعة مرنة لتوفير المكان (مثل الدوائر المطبوعة المستخدمة في الكاميرات والمساعدات السمعية). و مرات أخرى يستخدم الجزء المرن من الدائرة المطبوعة فعلياً كأحد الكوابل للتوصيل للوح دائرة مطبوعة أخرى أو جهاز أو عنصر آخر.

والشريحة العازلة المتماسكة التي يلصق عليها طبقة النحاس الرفيعة لها أسماء تجارية كما هو موضح بالجدول رقم (١-٢).

جدول رقم (١-٢) يوضح نوع المادة العازلة و اللاصقة

الاسم التجاري	المادة العازلة	المادة اللاصقة	ملاحظات
XXXPC	ورق	فينول	يمكن إجراء عملية التخريم في درجة حرارة الغرفة
FR-3	ورق	إبوكسي	مقاومة عزل عالية، يمكن أجراء التخريم في درجة حرارة الغرفة
G-10	زجاج	إبوكسي	للاستخدام العام، خواص ميكانيكية و كهربية متوافقة وجيدة
FR-4	زجاج	إبوكسي	نفس خواص G-10 بالإضافة إلى أنه مثبط للاشتعال وهو مستخدم بكثرة
CEM-3	زجاج	إبوكسي	يمكن إبداله ب FR-4 أو G-10 في بعض التطبيقات
GX	زجاج	تيفلون	ذو ثابت عازل محكوم للتطبيقات عالية التردد

١-٣ تصنيفِ ألواح الدوائر المطبوعة

:Classification of Printed Circuit Boards

قَدْ تُصنّفُ ألواح الدوائر المطبوعة طبقاً لخواصِها المُخْتَلِفةِ، وفي أغلب الأحيان بسمات أو صفات غامضة. وقد تم تقسيمها بشكل تقليدي إلى ثلاثة أصنافِ طبقاً لإستعمالإتها وتطبيقاتِها، وهى المنسوبة عموماً للإستهلاكية، ثم الاحترافية وذات الثقةِ العالية.

ألواح الدوائر المطبوعة PCBs الاستهلاكية إستعملت عموماً في المنتجات الإستهلاكية مثل الراديو، والتلفزيون، وأجهزة الاختبار والقياس الرخيصة. حيث تستعمل مادّة أساسية أقل غلاءً وتفاوت أكبر مسموح به للصناعةِ للإبْقاء على مستوى التكلفةَ منخفضاً. ويجدر بالذكر أن الأهمية الأكبر في هذه المنتجات الاستهلاكية لَمْ تكن لتُعطي الخصائص الكهربائية الجيدة والثابتة.

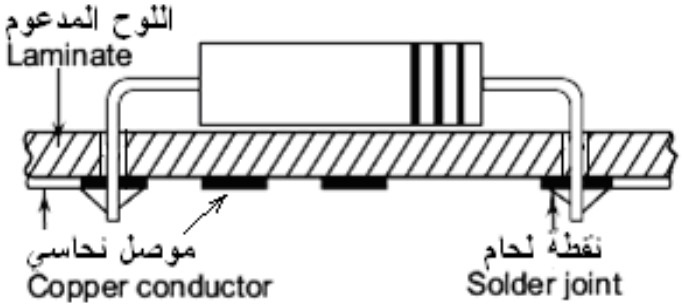
الألواح الإحترافية صُنِعتْ من المادّةِ الممتازةِ والأفضلِ لإنْجاز مواصفات كهربائيةِ وبيئيةِ أشدِّ بإستعمال اساليب صناعيةِ محكومة. الالواح ذات الثقة الأعلى، عادة مستعملة في التطبيقاتِ الإستراتيجيةِ، والمقصود هنا إعطاء أفضل الخصائص الكهربائيةَ خلال الإستعمالِ لمادّةِ أساسيةِ عالية الجودة وعملياتِ تصنيع مسيطر عليها باحكام.

التصنيف أعلاه كَانَ يمكنُ أَنْ يَكُونَ قبل إثنان أوثلاثة عقود قابلة للتطبيقَ، لكن في الوقت الحاضر، التمييز بين التسويق الإستهلاكي والإحترافي قد إختفي. فإن العديد مِنْ المنتجات الإستهلاكية مثل الأقراصِ المضغوطةِ compact discs أو آلات تصوير فيديو نقّالةِ camcorders أَو آلاتِ تصوير cameras أَصْبَحت أكثر تعقيداً وموثوقة ومطَلَوبة عنْ ما إعتبرَ حتى الآن كأجهزة محترفة مثل الحاسبات الشخصية. وصول تكنولوجيا وتَطَوّراتِ التثبيت السطحي في تقنياتِ التجميع الآلي تَتطلّبُ بأنّ تكون الألواحَ حتى لأرخص المُنتَجات يجب أنْ تكون مصْنَعة بتفاوت ميكانيكي صارم.

هناك تصنيف بسيط وأكثر فهماً يُستَعملُ الآن، حيث تم تأسيسه على أساس عددِ المستويات planes أَو طبقات layers توزيع الأسلاك، التي تشكّل التجميع أَو التركيبات لتوزيع الأسلاك الكليّةِ، وإلى حضور أَو غياب الطلاء خلال الفتحات plated-through holes. طريقةِ التَصنيف هذه للألواحِ فائدتها هو إنتسابها مباشرة إلى مواصفاتِ اللوح. الإنشاءات المُمَيِّزة المهمة لألواح الدائرة المطبوعة PCBs ستقرأه مُفصّلاً فيما بعد.

١-٣-١ ألواح الدوائر المطبوعة أحادية الجانب النحاسي
:Single-sided printed Circuit Boards

أحادية (مفردة) الجانب النحاسي 'Single-sided' تعني أن توزيع الاسلاك متوفر فقط على جانبِ واحد من البنية التحتية العازلة. الجانب الذي يَحتوي نمطُ الدائرةَ يُدْعَى ' جانب اللحام solder side' بينما الجانب الآخر يُدْعَى 'جانب العناصر component side'. هذه الأنواعِ مِنْ الألواحِ تَستعملُ في الغالب في حالة مجموعة الدوائر البسيطة وحيث تكلفة التصنيع سَتصْبَحُ باقية عند حَدّ أدنى. على الرغم من هذا، فهى تمثل حجم كبير من الألواحِ المطبوعةِ التي تنتج حالياً للدرجات المحترفة والغير محترفة professional and non-professional grades.الشكل رقم (١-٤) يوضح ترتيبَ لوح أحادي (مفرد) الجانب single-sided board .



شكل رقم (١-٤) يوضح لوح الدائرة المطبوعة أحادي الجانب النحاسي

عادة، تُستَعملُ عناصر للقَفْز فوق مساراتِ الموصلات، لكن إذا كانت غير ممكنة، فإن الاسلاك القافزة تكون مستخدمة. عدد أسلاكِ القفز على اللوح لا يُمْكن أنْ يقْبَلَ ما بعد عدد صغير نتيجة للأسبابِ الإقتصاديةِ، ويُؤدّي هذا إلى متطلبِ الألواحِ ثنائيةِ الجانب.

١-٣-٢ ألواح الدوائر المطبوعة ثنائية الجانب النحاسي
:Double-sided Printed Circuit Boards

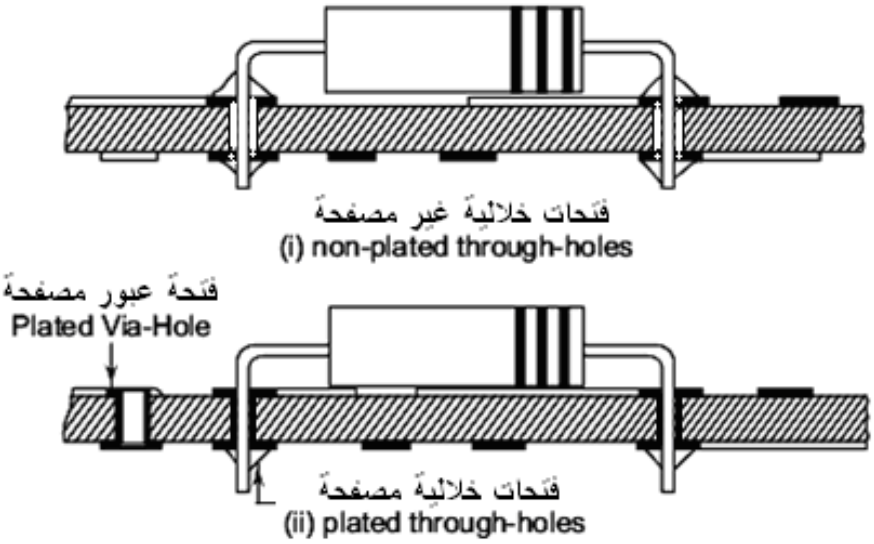
ألواح الدوائر المطبوعة ' ثنائية (مزدوجة) الجانب" لديها توزيع أنماطِ الأسلاك على كلا جانبي مادّةِ العَزْل، وبمعنى آخر: نمطَ الدائرةَ متوفرُ لكلاهما على جانبِ العناصر وعلى جانبَ اللحام. من الواضح، أن كثافة العناصر وخطوط الموصلات أعلى مِنْ ألواحِ الدوائر أحادية الجانب. هناك إثنان مِنْ أنواعِ الألواح ثنائية الجانب يستعملان عموماً، وهما:

- لوح ثنائي الجانب مع توصيل الفتحة الخلالية المطلية plated through-hole connection (PTH)؛ و
- لوح ثنائي الجانب مع توصيل الفتحة الخلالية الغير مطلية without plated through-hole connection (non-PTH).

الشكل رقم ١-٥ (a) يوضح التفاصيلَ البنائيةَ لكل مِنْ نوعى الألواحِ الثنائيةِ الجانب.

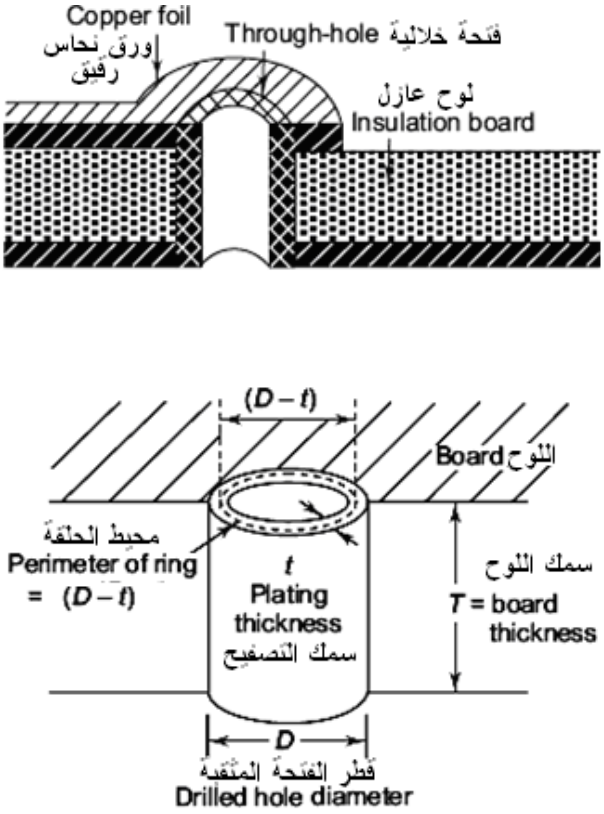
اللوح الثنائي الجانب ذو الفتحات الخلالية المطلية PTH لَديه مجموعةُ دوائر على كل من جانبي البنية التحتية العازلة، اللذان يكونا مُرتَبِطان بواسطة تعدين حوائط الفتحة في البنية التحتية حيث تتقاطع مع مجموعة الدوائر على كلا الجانبين. هذه التكنولوجيا، التي تعتبر القاعدةُ لأكثر الدوائرِ المطبوعةِ المنتجة، تُصبحُ محببة في حالاتِ التعقيد وكثافة الدائرةَ العالية. الشكل رقم ١-٥ (b) يوضح ترتيبَ الفتحة الخلالية مطلية الحوائط plated through-hole في لوح الدائرة المطبوعة.

اللوح ثنائي الجانب بدون طلاء للفتحات الخلالية non-PTH هو فقط إمتدادُ للوح أحادي الجانب. تكلفته أقل إلى حدٍّ كبير لأن تصفيح الفتحات تم تجنبه. في هذه الحالةِ، يتم التوصيل بواسطة لحام اطراف العنصر عند وسادتين متقابلتين على كلا جانبي اللوح، أينما كانت مطلوبة. في تصميمِ تخطيطَ مثل هذه الألواحِ، نجد أن عدد نقاط اللحامِ على جانب العناصر يَجبُ أَنْ يُلتَزمَ بحَدّ أدنى لتَسهيل إزالةِ العناصر، إذا كان مطلوب. وعموماً يُوصي بأنّ تكون أغلب مسارات التوصيل بقدر المستطاع على الجانب الأقل عناصر (جانب المسارات) وفقط باقي المسارات الموصلة تؤضَعَ على جانبِ العناصر.

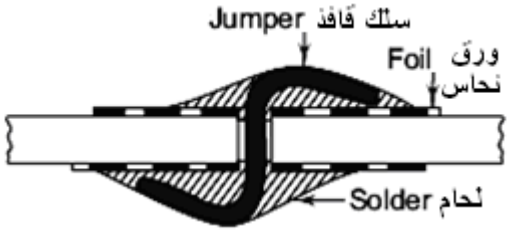


شكل رقم (١-٥ (a)) يوضح لوح الدائرة المطبوعة ثنائية الجانب النحاسي

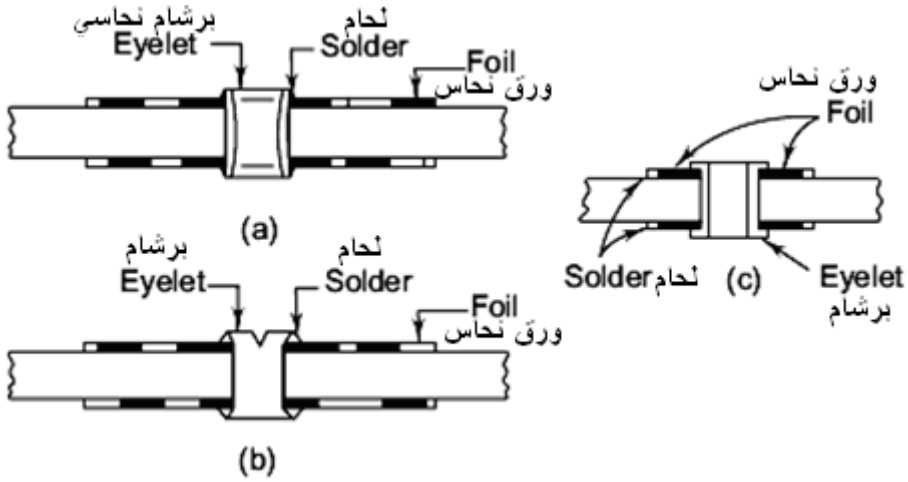
إنّ تكنولوجيا الفتحات بدون تصفيح non-plating technique في الألواحِ ثنائيةِ الجانب النحاسي يتم علاجها في حالة عدم وجود طرف عنصر يمر فيها كما هو موضح في الشكل رقمِ (١-٦) عن طريق الترابط بواسطة السلك القافز. حيث يتم وضع سلكَ حر مصمت عريان مشكل خلال الفتحة العبورية، ويتم تثبيته ولحامه إلى وسادةِ موصلة على كُلّ جانب من جانبى اللوح (ثقب عبور). وهناك أنواع مختلفة من مسامير البرشام تَستعملُ أيضاً لترابطِ اللوح ثنائيِ الجانب مثل : برشام ذو حافة قُمعية (a) funnel-flanged eyelet ، وبرشام ذو حافة قمعية مشقوقة (b) split funnel-flanged eyelet ، وبرشام ينصهر مكانه (c) fused-in-place eyelet . هذا موضح في الشكل رقمِ (١-٧).



شكل رقم (١-٥ (b)) يوضح ترتيب الفتحة الخلالية المطلية plated through-hole



شكل رقم (١-٦) يوضح توصيل عبوري بين وسادتين كلاهما على جانبي اللوح



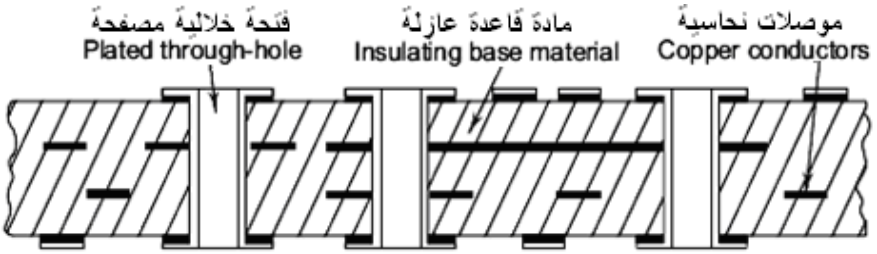
شكل رقم (١-٧) يوضح أنواع مختلفة من مسامير البرشام المستعملة لربطِ جانبي اللوح الثنائي

١-٣-٣ ألواح الدوائر المطبوعة متعددة الطبقات النحاسية
:Multi-layer Boards

تطوير تكنولوجيا الفتحات الخلالية المطلية plated through-hole technology أدّى إلى تخفيض كبير في موصلات العبور على المستويات المختلفةِ، وأدى إلى تخفيض في متطلباتِ المساحة وكثافة التغليف المتزايدِة للعناصر الإلكترونيةِ. على أية حال، تكنولوجيا الدوائر المتكاملة ذات التدريج الكبير جداً VLSI الحديثة وعناصر ترتيب الدبابيس المتعدّدة الأخرى عملت على الزيادة بشكل هائل في كثافة التغليف وبناء على ذلك التركيز على خطوط التوصيل الخارجية.

وقد سبّبَ هذا ظهور مشاكلِ التصميمِ المعقّدة مثل الضوضاءِ noise، وتداخل الحديث cross-talk، وظهور السعة الضالّة أو الشاردة stray capacitances واسقاط الجهد الغير مقبول نتيجة لخطوطَ الاشارة المتوازية. هذه المشاكلِ لا يُمْكن أنْ تُحْلَّ بشكل مرضي في الألواحِ الوحيدةِ أَو الثنائيةِ الجانب، وعلى ذلك يَستلزمُ استخدام الألواح المتعددةِ الطبقات. اللوح المتعدد الطبقات، المستعملَ في حالاتِ كثافة التوصيلات المطلوبة العالية جداً أحسن من أن يعالجَ باستخدام لوح ذو

طبقتين أَو حيثما كان هناك أسباب أخرى مثل السيطرةِ الدقيقةِ لممانعات الخَطِّوط الكهربائيةِ أَو لفحص فرعة الأرضي.



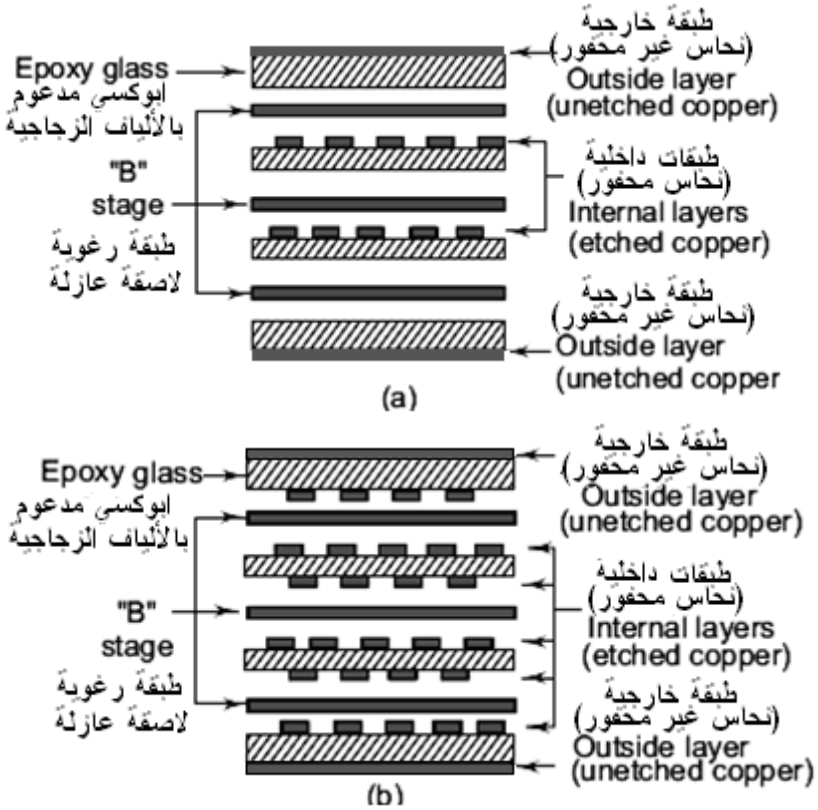
شكل رقم (١-٨) يوضح قطاع في لوح دائرة مطبوعة بأربعة طبقات

يستعمل اللوح المتعدد الطبقات أكثر مِنْ لوحى دائرة مطبوعة حيث يتم تثبيتها معاً بواسطة طبقات رفيعة معرفة بالمادّةِ الرغوية اللاصقة 'prepreg' حيث توضع بين كُلّ طبقة وأخرى، فيأخذ التجميع شكل السندويتشِ كما هو مبين في الشكل رقمِ(١-٨،٩). إنّ الدائرةَ المطبوعةَ على لوح القمة مشابهة لتجميع لوح الدائرة المطبوعة التقليدية ماعدا أن العناصر يتم وضعها أكثر قرباً لتجنب إمتِلاك العديد مِنْ الطرفيات، التي تستوجبُ إستعمالَ طبقات لوح إضافية للترابطِ المطلوبِ. الدائرة الكهربائية تصبح مكتملة بالرَبْط الداخلي للطبقاتِ المختلفةِ من خلال طلاء حوائط الفتحات، حيث وضعَت مستعرضةً مع اللوح عند الأماكنِ الملائمةِ. تبدأ الألواح المتعددة الطبقات بثلاثة طبقات دائرة أو أكثر، بينما بعض الألواح قد يصل حتى ٥٠ طبقة. الشكل رقم ١-٩ يوضح تفاصيلَ توعان مِنْ أنواعِ الألواح المتعددةِ الطبقات، احداهما بأربعة طبقاتِ والأخرى بثمانية طبقات.

استناداً إلى التركيبِ الموصل للطبقات المتعدّدةَ، فإن توزيع الأسلاك المطبوعة المتعدّدة الطبقات يسهّلَ التخفيض في الوزنِ وحجمِ الترابطِ المتعادلِ مع حجمِ ووزنِ العناصر التي تربط.

تَستلزمُ المناطقُ التاليةُ مِنْ التطبيقِ إستعمال ترتيباتِ توزيع الأسلاك المطبوعة متعددةِ الطبقات:

- أينما كان التوفير في الحجم والوزنَ في الترابطِ الداخلي يعتبر العامل الأهمَّ، كما في تطبيقات القذيفةِ العسكريةِ والمحمولة جواً والفضاءِ؛
- عندما يتطلب تعقيد الترابطِ الداخلي في الأنظمةِ الثانويةِ توزيع اسلاك أو ضفائر معقّدة وغالية؛



شكل رقم (١-٩) يوضح ألواح متعددةِ الطبقات، احداهما بأربعة طبقاتِ والأخرى بثمانية طبقات

- عندما تستدعي متطلبات الترددِ السيطرةِ الحذرةِ وإتساقِ ممانعات الموجةِ الموصلة مع التشويهاتِ distortions الدنيا وانتشار الاشارة signal propagation، وحيث أن إتساق هذه الخصائصِ مِنْ لوح إلى لوح يكون هام؛

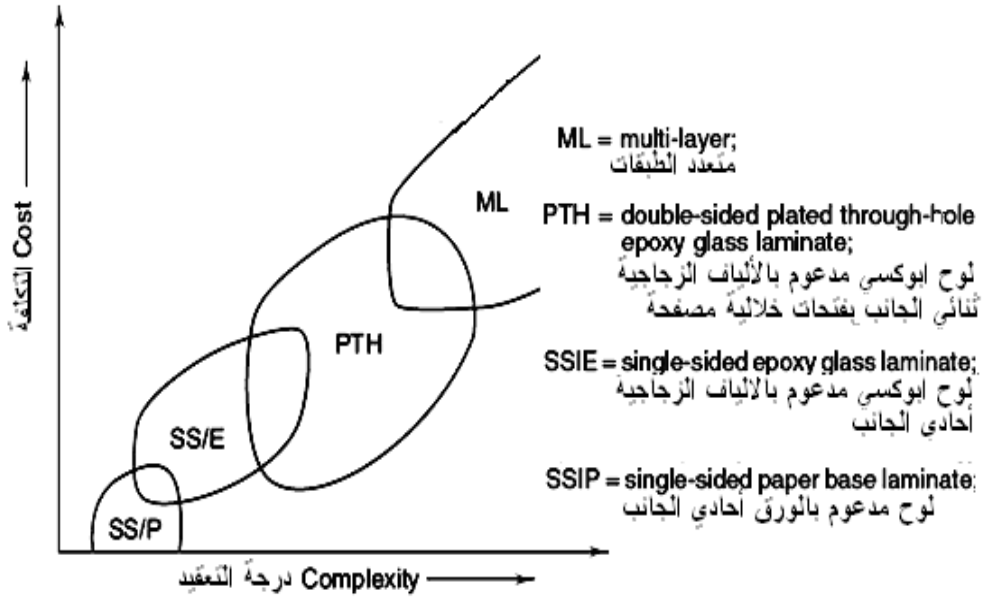
- عندما يكون الإزدواج coupling أَو التحجيب shielding لعدد كبير من الوصلات ضروريُ؛ فإن السعة العالية الموزعة بين الطبقات المختلفة تعطي فك ازدواج decoupling جيد لقدرة التغذية حيث تسمح للتشغيل المقنع لدوائر السرعات العالية؛
- بتعدّدِ الطبقاتِ، كُلّ الترابط الداخلي يُمْكِنُ أَنْ يُوْضَعَ على الطبقاتِ الداخليةِ، ويمكن وضع مسرب حراري من النحاس الصلب السميك على الأسطح الخارجيةِ. بواسطة تثبيت العناصر مباشرة على الأسطح المعدنيةِ، فإن مشكلة توزيعِ الحرارةِ وإزالةِ الحرارةِ في الأنظمةِ يُمْكِنُ أَنْ تخفض. أيضاً، التخطيطات والتصميمات الفنية تُبسّطُ بشكل كبير على حساب غيابِ التغذية والخطوط الأرضية على مستويات الاشارة signal planes.

نتيجة للتَطَوّراتِ في تكنولوجيا دعم الألواح الانتاجية mass lamination technology، فإن الألواح رباعية الطبقات وحتى الألواحِ سداسية الطبقات يُمْكِنُ أَنْ تصنع بنفس السهولةِ تقريبا كالألواح الثنائية الجانب. بتحسينِ الثقةِ reliability والتخفيضِ في التكلفةِ لألواح الدوائر المطبوعة، نجد أن إستعمال الألواحِ متعددةِ الطبقات لَنْ يحدّدَ بعد إلى المُنتَجاتِ التكنولوجية المتطورةِ فقط، لكنها تنتشر إلى بعض مِنْ التطبيقات الأكثر شيوعاً مثل إلكترونياتُ الترفيهِ وصناعةِ اللعب.

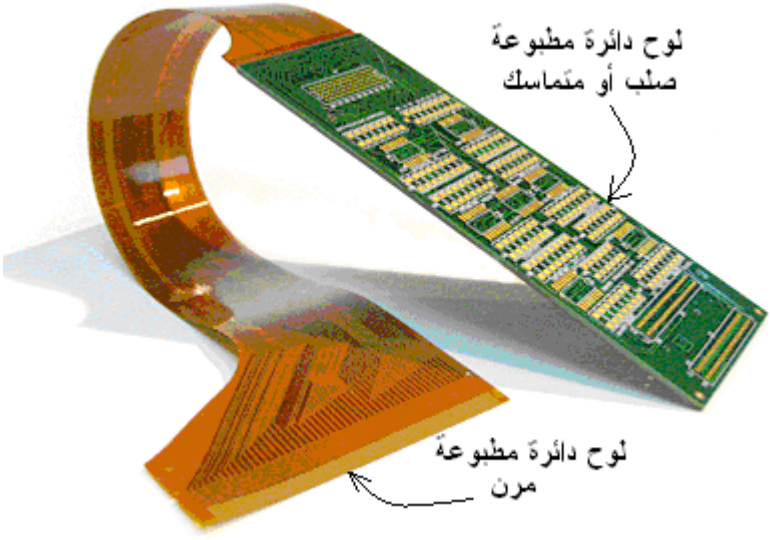
تعتمد تكلفة أى لوح دائرة مطبوعة على درجة تعقيدها والتكنولوجيا المستعملة. الشكل رقم (١-١٠) يوضح العلاقةُ بين التعقيدِ وتكلفة ألواح الدوائر المطبوعةِ.

١-٤ ألواح الدوائر المطبوعة الصلّبة والمرنة
:Rigid and Flexible Printed Circuit Boards

يُمْكِنُ أيضاً تُصنّيفَ ألواح الدوائر المطبوعة على أساس درجة صلادة مادة العَزْل المستخدمة، وبمعنى آخر: النوع الصلّب rigid أَو النوع المرن flexible . بينما تصنع الألواح الصلبة من تَشْكِيلة من الموادِ، فإن الألواح المرنة تَستعملُ مواد البنية التحتية المرنة مثل البوليسترِ أَو البوليميد polyamide. المادّةَ الأساسيةَ التي عادة تكون رقيقةُ جداً، تكون بسمك ٠.١ مليمترِ.


التكلفة Cost
ML
PTH
SS/E
SS/P
درجة التعقيد Complexity
ML = multi-layer;
متعدد الطبقات
PTH = double-sided plated through-hole epoxy glass laminate;
لوح ابوكسي مدعوم بالألياف الزجاجية ثنائي الجانب بفتحات خلالية مصفحة
SSIE = single-sided epoxy glass laminate;
لوح ابوكسي مدعوم بالالياف الزجاجية احادي الجانب
SSIP = single-sided paper base laminate;
لوح مدعوم بالورق احادي الجانب

شكل رقم (١-١٠) يوضح علاقة التكلفة cost ودرجة التعقيد complexity للوح وعلى نوع التكنولوجياً المستخدمة



شكل رقم (١-١١) يوضح لوح الدائرة المطبوعة الصلب والمرن

الألواح المدعومة المستعملةً في الألواحِ المرنةِ متوفرة بالنحاسِ في أحد الجانبين أَو في كلا الجانبين بالدلفنة. الالواح الصلبة–المرنة، الشكل رقم (١–١١)، التي تشكّلُ تركيبة من الألواحِ الصلبة والمرنةِ عادة يكونا مترابطين معاً، وتكون تركيبات ثلاثية الأبعادَ لَها أجزاءُ مرنةُ موصولة مع ألواح صلبة، تَدْعمُ عادة العناصر. هذا الترتيبِ يَعطي كفاءة بشكل حجمي مغلف وبالتالي يَكْسبُ إستعمالَ واسع الإنتشار في الأجهزةِ الإلكترونيةِ. ألواح الدوائر المطبوعة PCBs المرنة قَدْ تكُون أحادية الجانب، أو ثنائية الجوانب (بفتحات خلالية مصفحة PTH أَو بفتحات خلالية غير مصفحة non-PTH)، أو متعددة الطبقات.

١-٥ أصنافِ الألواح المطبوعة من ناحية التطبيق:

ألواح الدوائر المطبوعة (PCBs) أَو ألواح توزيع الأسلاك المطبوعةِ (PWBs) يُمْكِنُ أَنْ تُقسّمَ إلى صنفين عامين حيث لهما خصائصُ مشتركةُ مستندة على وظائفِ نهائية. هذان الصنفان لَهما موادُ مختلفةُ جداً ومتطلباتُ تصميمِ، ووظائف، وكنتيجة، تحتاج لأَنْ تعالجَ بشكل مختلف في كافة أنحاء التصميمِ وعمليات الصناعة. الصنف الأول يَحتوي ألواح الدوائر المطبوعة PCBs التماثلية analog، والراديوية RF، والمايكروويفية microwave مثل الموجودة في المسجلاتِ stereos، والمرسلات transmitters ، والمستقبلات receivers ، وتغذية القدرة الكهربائية power supplies ، والتحكم الآلي automotive controls ، والافران الميكروويفية microwave ovens ، والمنتجات المشابهة.

أما الصنف الثاني فيحتوي مجموعة الدوائر المؤسسة على الاشارة الرقمية مثل الموجودة في الحاسباتِ، ومعالجات الاشارة signal processors ، وألعاب الفيديو video games، والطابعات printers، ومُنتَجات أخرى تَحتوي مجموعةَ الدوائر الرقميةَ المعقّدةَ. الجدول رقم (١–٣) يحتوي العديد مِنْ خصائص كُلّ صنف من أصناف ألواح الدوائر المطبوعة PCBs.

جدول رقم (١-٣) يوضح خصائص ألواح الدوائر المطبوعة المؤسسة على الاشارات التماثلية والراديوية مقابل الألواح المؤسسة على الاشارات الرقمية :

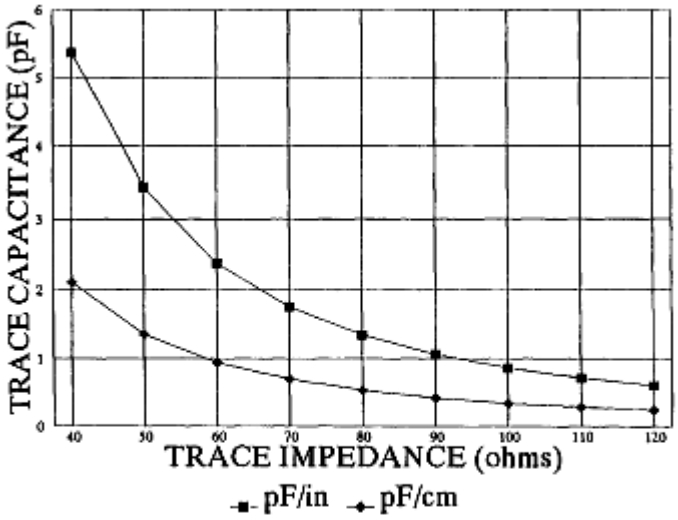
وجــه المقارنــة/نــوع إشارة الدائرة	ألواح الدوائر المطبوعة المؤسسة على الاشارات التماثلية والراديوية	الألواح المؤسسة على الاشارات الرقمية
درجة التعقيد	درجة تعقيد في الدائرة منخفضة	درجة تعقيد في الدائرة عالية جداً
توافق الممانعة	توافق دقيق للممانعة ضروري	مسموح بمستوى معين من عدم توافق الممانعة
فقد الاشارة	الاقلال من فقود الاشارة ضروري	مسموح للمواد التي تسبب فقد
حجم العناصر	صغر مقاسات العناصر في الغالب ضرورية	صغر مقاسات العناصر حسب الرغبة
عدد الطبقات	فقط طبقة واحدة أو طبقتين	العديد من طبقات القدرة والاشارة
الدقة	تحتاج لدقة عالية جداً	تحتاج لدقة متهاودة
ثابت العزل	تحتاج لثابت عزل منخفض أو منتظم	ثابت العزل ثانوي

١-٥-١ خصائصِ الألواح المطبوعة التماثلية والراديوية والميكرويفية :Characteristics of Analog, RF, and Microwave PCBs

كما أمكن رؤيته مِنْ الجدول(١-٣)، المواد، والتصميم، وإحتياجات صناعةِ هذا الصنفِ من ألواح الدوائر المطبوعةPCBs تكون مختلفة تماماً عن ألواح الدوائر المطبوعة PCBs المنسوبة عموماً إلى المجال الرقميِ.

- تعقيد الدائرةِ يكون منخفضُ لأن أكثر العناصر المستعملة لَها إثنان، أو ثلاثة، أَو أربعة أطراف. هذا بسبب الإستعمالِ العاليِ للمقاوماتِ، والترنزستورات، والمكثّفات، والمحولات، والملفات inductors.
- المسارات Traces، والوسائد pads ، ونقاط العبور vias قد تعمل في أغلب الأحيان كملفات inductors، وكمكثّفات، وكإزدواج عناصرِ في الدائرة الفعليةِ. لَرُبَّما يكون لأشكالها تأثير مادي على الأداءِ العام للدائرة. على سبيل المثال، المحاثّة الكهربائية

للطرف والسعة في سلك دائرةِ مجمع الترنزستورِ قَدْ يقوما بفعل العناصر الرنانة resonant components لمكبر التردد الراديوي RF أَو قَدْ تخفّضُ الأداءَ performance إذا لم تكن مرغوبة. الشكل رقم (١-١٢) يوضح الممانعة الكهربائيةَ للمسارات كدالة لسعاتهم.



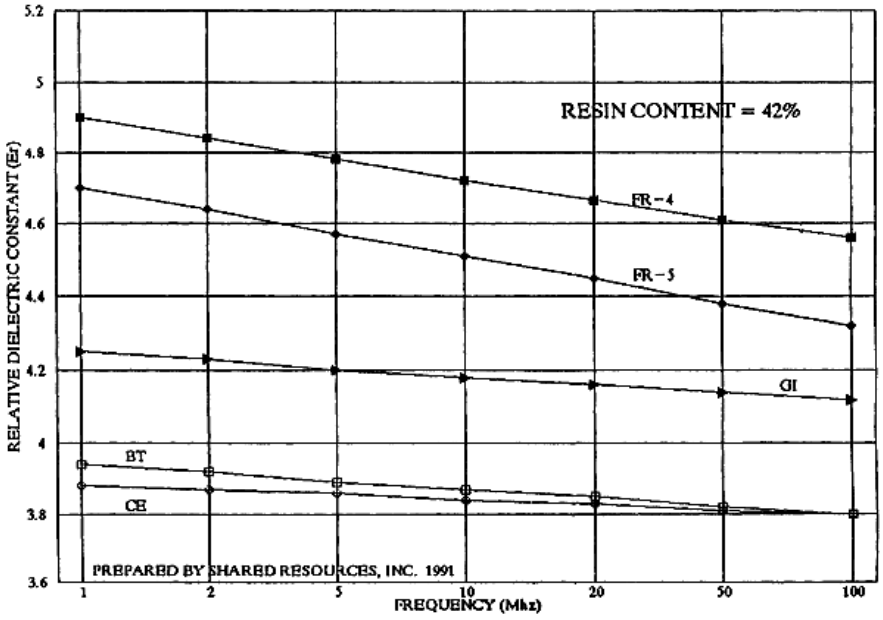
شكل رقم (١-١٢) يوضح العلاقة بين سعة المسار وممانعة المسار

المؤسسة على $L_O = 8.5\,nH/in$

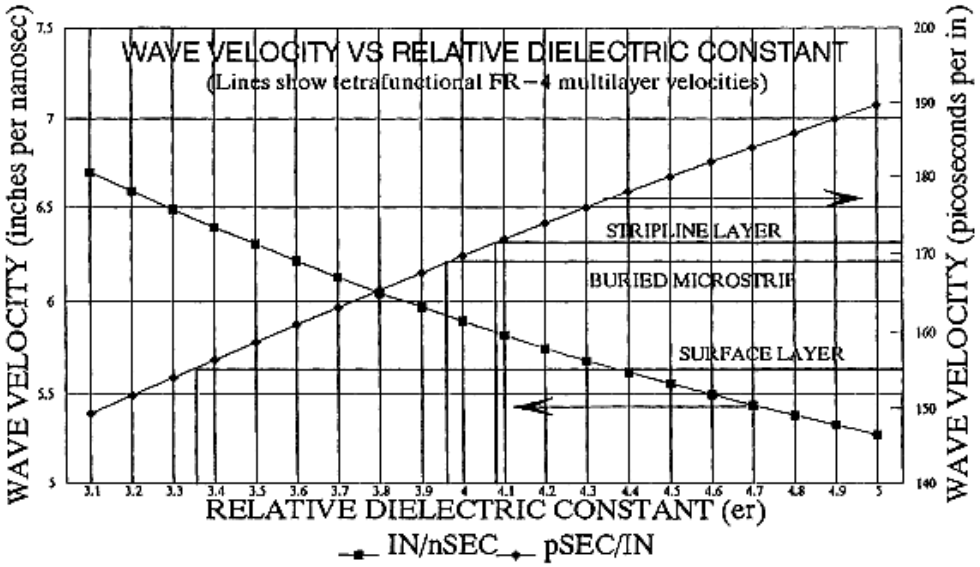
- إثنان من المسارات النحاسية يجريان جنباً إلى جنب قَدْ يُستَعملانِ لتزاوج أى إشارة من دائرة إلى آخرى كما يتم في الرابطات الإتجاهيةِ directional couplers لمكبراتِ المايكروويفِ. (هذا الإزدواج هو نفسهِ في الدائرة الرقمية الذي قَدْ يؤدّي إلى تداخل إشارة مع الدائرة المجاورة مسببة عطل.)
- أى سلسلة من الموصلات تجرى جنباً إلى جنب قَدْ تَشتغلُ كمرشِح إمرار نطاقي band-pass filter . الأداء الصحيح للمرشحاتِ، بالإضافة إلى أكثر الدوائرِ الاخرى ذات التردد الراديوي المتسعة النطاق wideband RF، يَعتمدُ على كُلّ الترددات المرتحلة بالسرعات المتساويةِ خلال المسارات. إلى حدّ ما هذا لَيسَ حقيقيَ، فهناك ترددات قد تصِلُ متأخرة مما يؤدي إلى تشويه الإشارةَ لاحقاً مما يتطلب معالجتها. هذا يُدْعَى تشويهَ وجهي phase distortion .

الشكل رقم (١-١٣) يوضح ثابت العزل dielectric constant للموادِ المختلفة للوح الدائرة المطبوعة PCB كدالة للتردد. لاحظ أن بَعْض المواد تظهر هبوطِاً مثيراً في ثابتِ العزلِ بينما يزداد التردد. إنّ السرعةَ التي تنتقل بها الاشارة خلال العازل هى عبارة عن دالة لثابت العزل. الشكل رقم (١-١٤) يوضح سرعةَ الاشارة كدالة في ثابت العزل. مِنْ هاتين الرسمتين البيانيتين يُمْكِنُ أَنْ نرى أنّ إستعمال أى مادّة عازلة مَع ثابت عزل غير منتظم في التطبيقاتِ الراديوية RF قَدْ تُؤدّي إلى تشويهِ وجهي phase distortion لأن مركبات التردد الاعلى تَصِلُ عند الخرج قبل الترددات الاقل.

- أى مسار نحاسي في دائرة تغذية القدرة قَدْ يتوقّعُ أن يحَمْل عِدّة أمبيرات بدون تسخين ظاهر أَو اسقاط للجهد. قَدْ تُستَعملُ مقاومته كعنصر حساسِ لإكتِشاف تدفقِ التيار. بنفس الطريقة، مرور التياراتِ الكبيرةِ بالنحاسِ الغير كافيٍ في المسار قَدْ يُؤدّي إلى اسقاط جهد مما يخفّضُ أداءَ الدائرةِ. الشكل رقم (١-١٥) يوضح مقاومةَ المسار النحاسي كدالة لعرضِه وسُمكِه. وتوضح الاشكال أرقام (١-١٦) و(١-١٧) تسخين الموصل كدالة للعرضِ، والسُمك، وتدفق التيار.



شكل رقم (١-١٣) يوضح العلاقة بين ثوابت العزل والتردد لمواد لوح الدائرة المطبوعة المختلفة

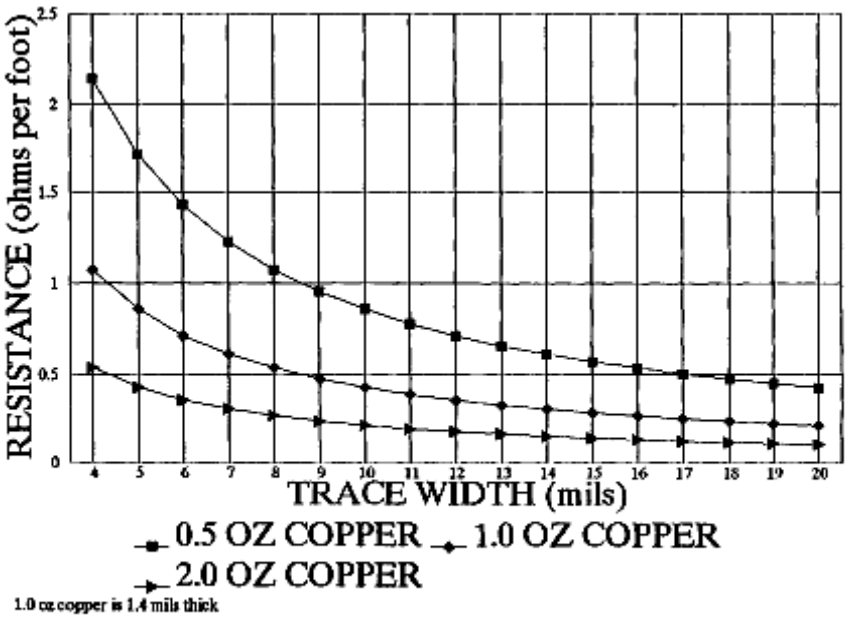


شكل رقم (١−١٤) يوضح سرعة الاشارة كدالة في ثابت العزل

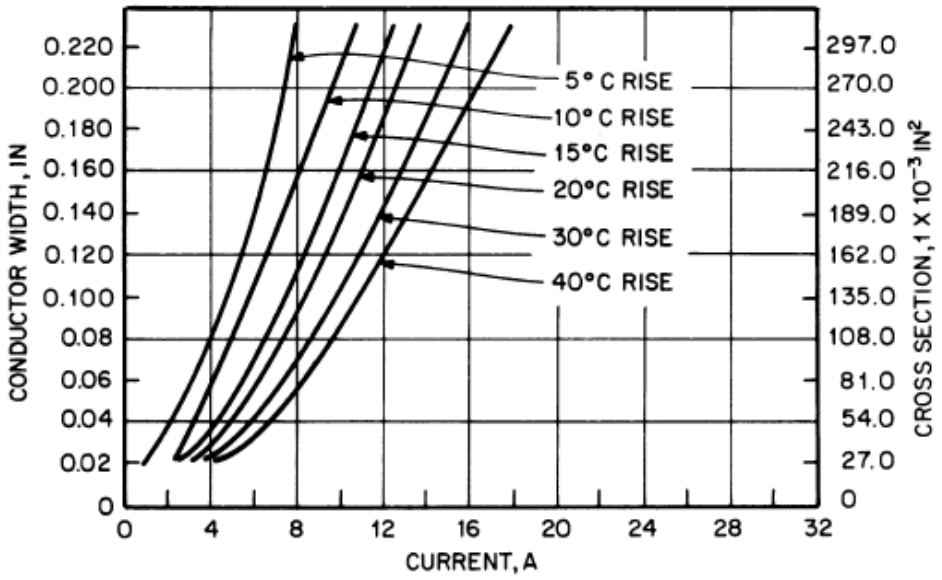
- الواح الدوائر المطبوعة المستعملة في الأجهزة الإلكترونية الإستهلاكيةِ تمِيلُ إلى المشاركة للدائرةِ المنخفضة التعقيد مع ألواح الدوائر المطبوعة الراديوية RF والتماثلية analog. على أية حال، طلبات الأداءَ أقل جداً. الحاجة إلى التكلفة الاقل الممكنة تُوازنُ هذا. لإنْجاز أهدافِ التكلفةَ، كُلّ جُهد يتم للإبْقاء على كُلّ التوصيلات على الجانب المفرد ولتَشكيل كُلّ الفتحات بعملية تخريم واحدة. هذا يُزيلُ كلا من التثقيب drilling والتصفيح plating. إنّ نظامَ مادة البنية التحتية يكون في أغلب الأحيان ورق مشبع بالراتنج، حيث أنها نظام البنية التحتية ذات التكلفة الاقل للتغليف الإلكترونيِ.

نستطيع أن نَلخص ما سبق كما يلي، يَعتمدُ التصميم التماثلي والراديوي RF الناجح بشدّة على خواص الموادِ المستعملةِ وعلى الأشكالِ الطبيعيةِ للموصلات وقربِ بعضها لبعض بدلاً مِنْ القدرةِ على مُعَالَجَة أعداد كبيرةِ جداً من الدوائرِ بشكل آني. التوجيه اليدوي أَو توصيل الأجزاءِ الفرديةِ المقترنة بمُعَالَجَة أشكالِ الميزّاتِ النحاسيةِ الفرديةِ هى أدوار أساسية لعمليةِ التصميمِ هذه. لهذه الأسبابِ، أدوات التصميمَ وفريقَ التصميمِ يجب أنْ يَختَارا ليَلبّيا هذه الإحتياجاتِ.

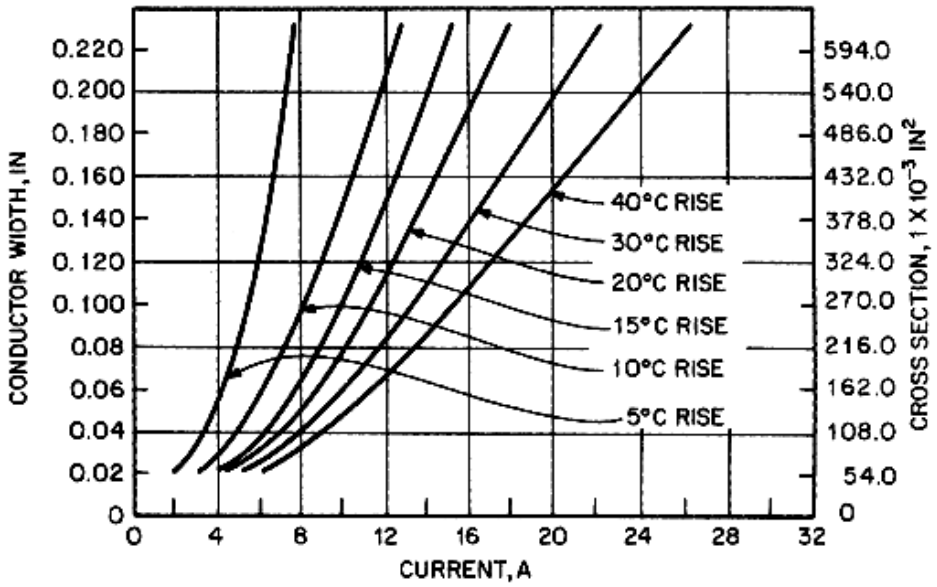
أدوات التخطيطِ الطبيعيةِ التي تعطي المعالجة التخطيطية المتاحة للوح الدائرة المطبوعة تكون واجبة.



شكل رقم (١-١٥) يوضح العلاقة بين مقاومة المسار وعرض وسمك المسار



شكل رقم (١-١٦) يوضح العلاقة بين ارتفاع درجة الحرارة والتيار لواحد أونس نحاس



شكل رقم (١-١٧) يوضح العلاقة بين ارتفاع درجة الحرارة والتيار لإثنين أونس نحاس

١-٥-٢ خصائصِ الألواح المطبوعة المؤسسة على الاشارة الرقمية :Characteristics of Digital-Based PCBs

بالمقَارنـة بـين ألـواح الـدوائر المطبوعـة الراديويـة RF، والتماثليـة analog، نجـد أن ألـواح الـدوائر المطبوعة المؤسسة على الاشارات الرقمية لديها توصيلات بينية معقدة، لكنها متسامحة بـالأحرى فـي سمة الحجم وإختلاف الموادِ.

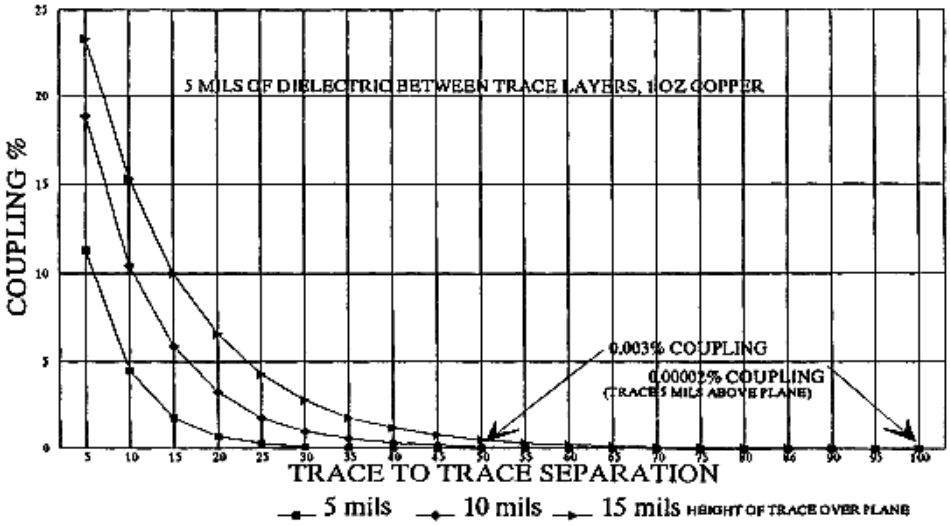
- مميزة بالعدد الكبير جداً من العناصر، يَعْدُّ في أغلب الأحيان بالمِئاتِ وأحياناً بالآلاف.
- العناصر الرقمية لَديها أعداد كبيرةُ من الارجل في أغلب الأحيان حتى الـ٤٠٠ أَو أكثرِ. هذا المستوى العالي من الارجل يَنْجمُ عن هندسة المنطقِ المعماريةِ التي لَديها البياناتُ وممراتُ العناوين بعرضِ الـ١٢٨ رقم ثنائي bits أَو أكثر. لتوصيل ألواح الدوائر المطبوعة PCBs بهذه الممرات العمومية للبياناتِ العريضة wide data buses، في أغلب الأحيان تَحتوي الأنظمةَ الرقميةَ على مقابس لربط لوح مع لوح بأطراف قد تصل حتى ١٠٠٠ دبّوس.

- للدوائر الرقمية حواف للنبضات سريعةُ fast edges بشكل متزايد وتأخير انتشار منخفض low propagation delays لإنْجاز أداءِ أسرعِ. معدلات الحافة Edge rates سريعة حتى ١ نانو ثانية وهى الآن في أجهزة المُنتَجاتِ الشائعة كألعاب الفيديو. الجدول رقم (١-٤) يحتوي قائمةَ لسرعات الحافة لبعضِ العائلات المنطقية الشائعة والمستخدمة، معدل الحافةِ هو الزمن المطلوب لإشارة المنطقِ للنَقْل مِنْ مستوى منطقِ معين إلى آخر (سرعة التحويل أو الانتقال). تأخير الانتشار Propagation delays، هو الزمن المطلوب للإشارة للارتحال خلال الجهاز device، وهى تقل سوياً مع معدل الحافةِ.

- هذه الحواف السريعةِ fast edges وتأخير الانتشار القصيرِ short propagation delays يُؤديان إلى تأثيراتِ خَطِّ التراسل مثل الإزدواج coupling، وإرجاع أرضي ground bounce، والإنعكاسات reflections التي يُمْكِنُ أَنْ تُؤدّي إلى تشغيل غير صحيح لألواح الدوائر المطبوعة PCB الناتجة. الجدول رقم (١-٤) يوضح الدرجةَ التي إليها إشارة التحويل السريع سَتتُزاوجُ مع الخط المُجَاوَر كدالة لفصل الحافةِ عن الحافة edge-to-edge separation وإرتفاعِ زوجِ الإشارة فوق مستوى القدرة الكهربائيةِ power plane التحتي. إنّ الطولَ الحرجَ المدرج في الجدول رقم (١-٤) هو طول التَوازي بين مسارين نحاسيين عند الوصول إلى مستويات الإزدواج في الشكل (١-١٨).

جدول رقم (١-٤) يوضح سرعات التبديل أو التحويل للعائلات المنطقية النموذجية

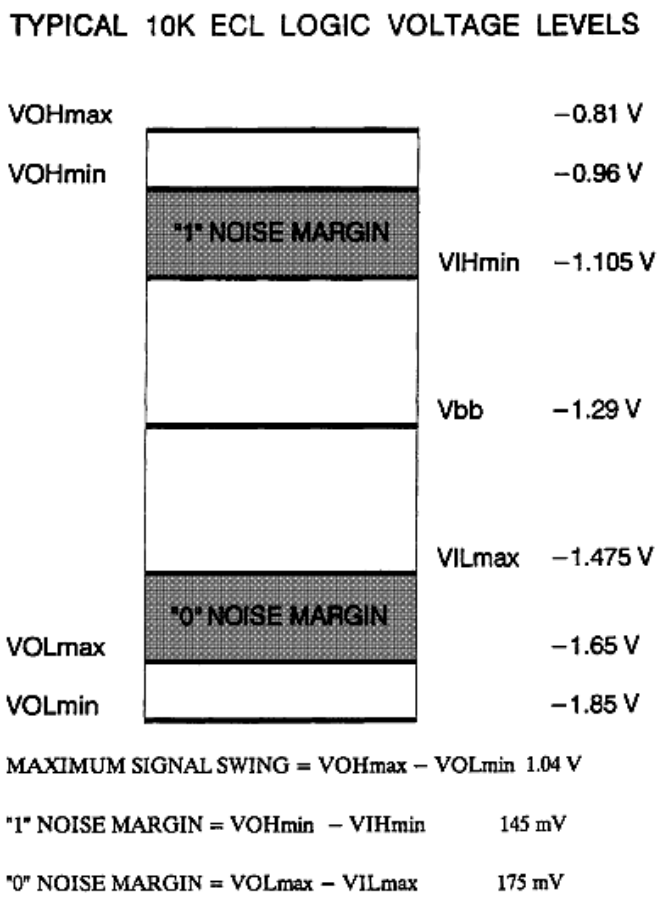
Logic family	Edge speed, ns	Critical length, in
STD TTL	5.0	14.5
ASTTL	1.9	5.45
FTTL	1.2	3.45
HCTTL	1.5	4.5
10KECL	2.5	7.2
BICMOS	0.7	2.0
10KHECL	0.7	2.0
GaAs	0.3	0.86



شكل رقم (١-١٨) يوضح الازدواج من مسار إلى مسار

صممت الدوائرَ الرقميةَ نفسها للإشتِغال بشكل صحيح بإشاراتِ دخل تتغير على مدى واسع من القيم نسبياً. الشكل رقم (١-١٩) يوضح مستويات الإشارة لعائلة منطقية مثالية logic family، في هذه الحالة هى ECL. وتعرف إشارةَ الخرج الأصغرِ smallest output signal مِنْ ECL driver بأنها الفرق بين VOL_{max} وVOH_{min} أو ٠.٩٩ فولت. جهد الدخل smallest input voltage الأصغرِ إلى العنصر device عند جزء المنطق المصمّمَ للعَمَل بشكل صحيح هو الفرق بين VIL_{max} وVIH_{min} أو ٠.٣٧ فولت. الفرقِ بين هذين المستويين، هو هامش الضوضاءَ noise margin الذي يساوي ٠.٦٢ فولت متوفرُ لصَدّ الفقود counteract losses في توزيع الأسلاك والعازل ومِنْ المصادرِ الأخرى مثل الإزدواج والإنعكاساتِ. مِنْ هذا يُمْكِنُ أَنْ نرى أنّ المنطقِ الرقميِ لَهُ تفاوت عالٍ مِنْ الفقود high tolerance of losses ومناعةِ أعلى للضوضاء higher immunity to noise .

هذا التَفاوت مِنْ الضوضاءِ والفقود يجعل من الممكن أَنْ يَكُونَ لديهُما مميزات مسار وموادُ أساسيةُ base materials تقدم فقود وتشويهَ كبيرَ بينما ما زالا يُنجزانِ التشغيل الصحيح. وهذا التَفاوت العالي نسبياً مِنْ التشويهِ الذي يَجْعلُ من الممكن أن تكون صِناعَة ألواح دوائر مطبوعة رقمية إقتصاديةٍ.



شكل رقم (١-١٩) يوضح خريطة نطاق الضوضاء لعائلة المنطق ECL

الخلاصة: العدد الكبير للتوصيلات في ألواح الدوائر المطبوعة PCBs الرقمية يَتطلّبُ عموماً طبقات توزيع اسلاك مضاعفة لتَوزيع القدرة الكهربائية بنجاح والربط البيني لكُلّ العناصر devices. كنتيجة لذلك، فإن مهمّة التصميمَ متحيّزة جداً لجانب عمل العديد مِنْ التوصيلات بشكل ناجح في عدد محدود من طبقات التوجيه routing layers بينما يَطِيعُ هذا قواعدَ خَطِّ التراسل. تَحتاجُ الموادُ الأساسيةُ أَنْ يَكُونَ لها الخصائصُ التي تنتج في لوح دائرة مطبوعة PCB والتي بدورها تكون إقتصادية لصِناعتها وقادرة على مُقَاوَمَة عملياتِ اللحام بينما تحافظ على الأداءَ السريعَ. بالمقَارنة مع الواح الدوائر المطبوعة الراديوية RF، نجد أن الفقود في العازل تؤول إلى الاهتمام الاقل لألواح

الـدوائر المطبوعـة PCBs الرقميـة. الأشـكال الفعليـة للموصـلات، والوسـائد، والفتحـات، والصـفات الأخرى لَها تأثيرُ صَغيرُ على الأداءِ. للمعالجة المفصلة لهذه المواضيعِ، ارجع إلى :

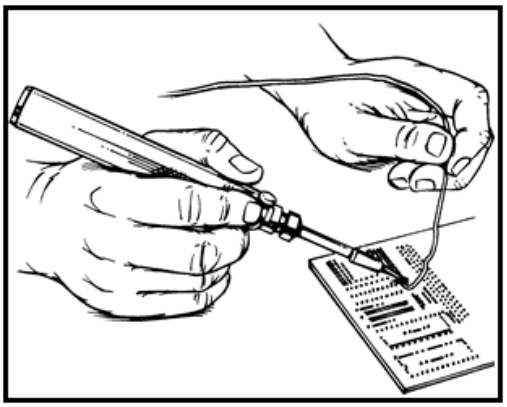
Howard W. Johnson and Martin Graham, High Speed Digital .Design: A Handbook of Black Magic, Prentice Hall, New York, 1993

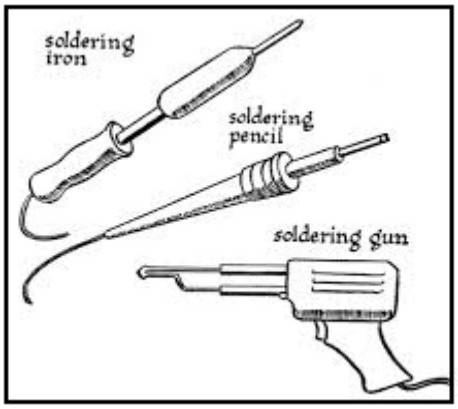
نظام تصميمِ لوح الدائرة المطبوعة PCB ومهارة التصميمَ المعدة لألواح الدوائر المطبوعة PCBs الرقمية يجب أنْ يُحَسّنا لضمانْ الدقةً في عَمَل أعداد كبيرة من التوصيلات بينما يعالج متطلبات السرعة العالية بنجاح للنظامِ. إنْجاز هذا بكمية معقولة مِنْ الطلبات الزمنية يؤدي إلى استعمال نظام CAD الذي يَحتوي موجه آليَ للإستعمالِ في ربط الأسلاكِ.

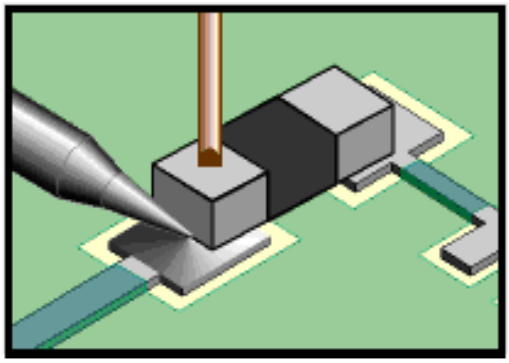
١-٦ طرقِ لحام العناصر بألواح الدوائر المطبوعة:

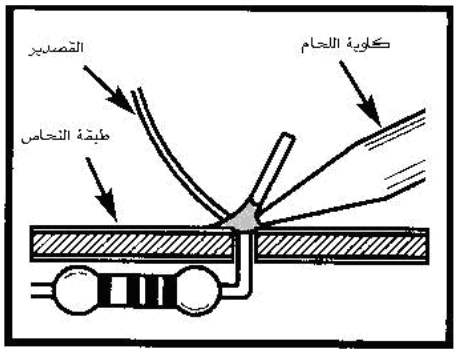
١-٦-١ اللحام اليدوي Manual Soldering

وهو يعتبر تسخين محلي لطرف العنصر Local Component Heating وفي نفس الوقت تسخين الوسادة المراد ربطها مع الطرف الشكل رقم (١-٢٠)، وذلك باستخدام كاوية لحام يدوية ذات سلاح معدني مدبب ناقل للحرارة في وجود سبيكة اللحام السلكية أو المعجون وأيضا وجود مساعد اللحام لتسهيل العملية. مع وجوب تحقيق صفة الترطيب في عملية لحام نقطة الربط بين طرف العنصر والوسادة.









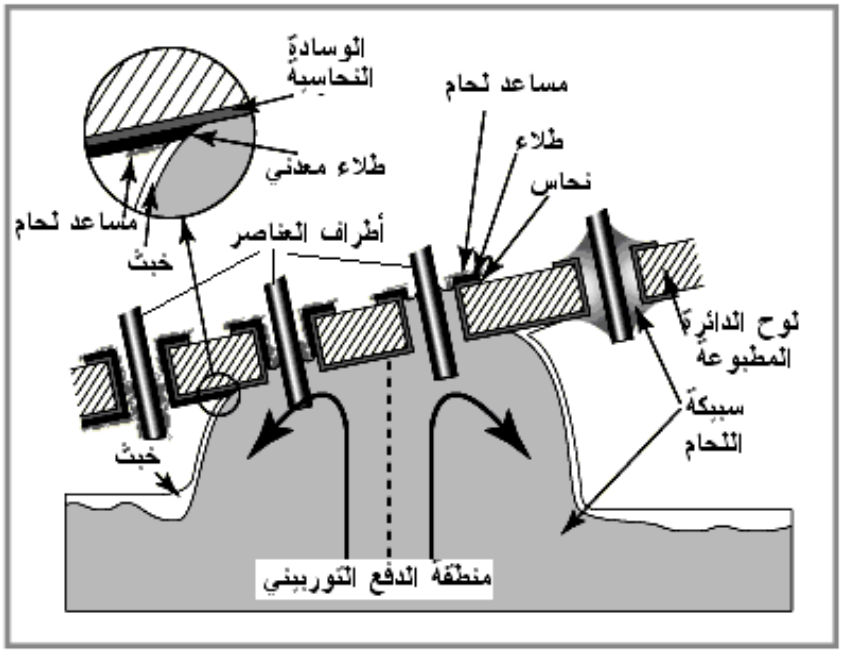
شكل رقم (١-٢٠) يوضح أنواع الكاويات اليدوية، وكيفية أداء اللحام بها للعناصر التقليدية والعناصر المثبتة سطحياً

١-٦-٢ اللحام بالموجة :Wave Soldering

وهو يعتبر تسخين كلي للوح الدائرة المطبوعة Global Board Heating . اللحام بتموج سبيكة اللحام Wave Soldering هى عملية لحام ذات تدريج كبير يتم فيها لحام العناصر الالكترونية إلى لوح الدائرة المطبوعةَ لتنفيذ التجميع الالكتروني وذلك بالحام عدد كبير من نقاط اللحام في نفس الوقت. وقد اشتق الاسمَ مِنْ حقيقة أنّ العمليةِ تستخدم خزان لحَمْل كمية اللحامِ المنصهر؛ ويتم إدخال أو وضع العناصر على لوح الدائرة المطبوعة ثم يتم إمراره عبر موجة سبيكة لحام مدفوعة أو متدفقة أو ساقطة (شلال) من الخزان كما بالشكل (١-٢١). تقوم سبيكة اللحام المدفوعة، بطلاء المناطق المعدنية الظاهرة في لوح الدائرة المطبوعة(أو بمعنى آخر المناطق الغير محمية بقناع اللحام)، مسببة الربط الميكانيكي والكهربي في منطقة نقط اللحام. هذه العملية تمتاز بأنها أكثر سرعة و أكثر تحقيقاً لجودة المنتج عن إجراء اللحام يدوياً للعناصر.

و يستخدم أسلوب اللحام بتموج سبيكة اللحام Wave soldering لإجراء عملية اللحام سواء لتثبيت العناصر خلال ثقوب THM لوح الدائرة المطبوعة أو تثبيتها سطحياً SMT على وجه اللوح الموصل بدون الحاجة إلى الثقوب. في الحالة الأخيرة يجب أن يتم لصق العناصر المراد تثبيتها

سطحياً على لوح الدائرة المطبوعة قبل تشغيلها خلال تموج سبيكة اللحام نظراً لقلب اللوح وجعل العناصر لأسفل.



شكل (١-٢١) يوضح فكرة حوض اللحام المتموج السطح

١-٦-٣ اللحام بالافران
:Reflow Oven Soldering

و مع زيادة الأطراف الدبوسية لعناصر التثبيت من خلال ثقوب THM في لوح الدائرة المطبوعة تم استبدالها بعناصر التثبيت السطحية SMT وبالتالي تم استخدام طرق اللحام بالأفران خلال دورة الهواء الساخن reflow soldering methods بدلاً من أحواض سبيكة اللحام المتموجة wave soldering في تطبيقات الدوائر المتكاملة ذات التدريج الكبير

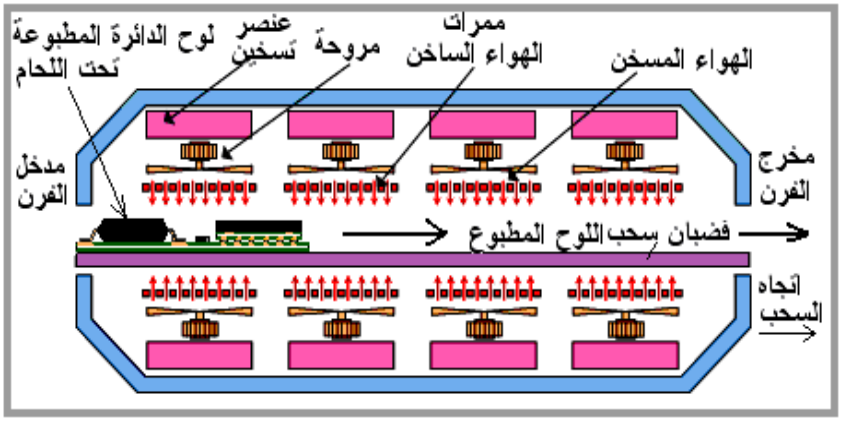
خطوات عملية لحام العناصر سطحية التثبيت SMT خلال الأفران :

١. تطبيق معجون اللحام على لوح الدائرة المطبوعة باستخدام قناع. يصمم الاستنسيل بثقوب على تطابق على مناطق نقط اللحام الفردية لتحكم عملية اللحام للوحة.

٢. يتم وضع العناصر الإلكترونية على لوح الدائرة المطبوعة باستخدام أجهزة آلية لوضع العناصر (ماكينات الالتقاط و الوضع، قاذفات العناصر ذات الشريحة الرقيقة، الخ pick-and-place machines, chip shooters، etc.) يتم وضع أطراف العناصر بالتماس المباشر مع نقط اللحام المسقط عليها معجون اللحام سابقاً.

٣. يتم تسخين معجونَ اللحامَ حتى يتحول إلى الحالة السائلة liquidus (بواسطة الفرن)، ثم يتم تبريد مادة اللحام حتى تتجمد، حيث تنفذ نقطة اتصال دائمة بين أطراف العنصر و لوح الدائرة المطبوعة. هذه العملية تتم في الأفران.

٤. بَعْدَ إتمام عملية اللحام بالفرن، يمكن تنظيف لوح الدائرة المُجمّعة، و يتم اختبارها، أو يتم تجميعها إلى المنتج النهائي.



شكل (١-٢٢) يوضح فكرة اللحام بالأفران

١-٧ طرقِ تثبيت العناصر بألواح الدوائر المطبوعة :METHODS OF ATTACHING COMPONENTS

هناك تشكيلة واسعة من الطرقِ تَطوّرتْ لرَبْط العناصر بألواح الدوائر المطبوعة PCBs. الطرق إختيرتْ بالإضافة إلى تركيبات من الطرقِ لمُنتَج لَه تأثير كبير على التكلفة النهائية، وسهولة

التجميع، وتوفر العناصر الالكترونية، وسهولة الإختبارِ، وسهولة إعادة التشغيل (معالجة عيوب الصناعة). هناك خمس طرق اساسية لتثبيت العناصر كما بالشكل رقم(١-٢٣) :

١. خلال الفتحات فقط،
٢. خلال الفتحات مخلوطة مع التثبيت السطحي، جانب واحد،
٣. تثبيت سطحي على جانب واحد فقط،
٤. تثبيت سطحي على كلا الجانبين،
٥. وتثبيت سطحي على كلا الجانبين مع التثبيت خلال الفتحات.

١-٧-١ تثبيت من خلال الفتحة فقط Through-Hole Only:

كُلّ ارجل العنصر تَرْتبطُ بلوح الدائرة المطبوعة PCB وذلك بواسطة ادخال هذه الارجل خلال فتحات محددة باللوح للحامها بجانب اللحام. العناصر قَدْ تثبت باللحام اليدوي للكميات الصغيرة أو باللحام الموجي للكميات الانتاجية الكبيرة كما بالشكل رقم(١-١،٢٣). يتضمّنُ التجميع عملية تنسيبِ العنصر المتبوعة بعملية اللحام بالموجة. هذه الطريقةِ ما زالَتْ حصانُ شغل لصناعة الإلكترونياتِ الاستهلاكية المنخفضة التكلفة.

١-٧-٢ تثبيت خلال الفتحات مخلوطة مع التثبيت السطحي، جانب واحد Through-Hole Mixed with Surface-Mount, One side:

مكوّنات مثل المقابس connectors والدوائر المتكاملة ذات تغليف مصفوفة الكرات الشبكية PGAs يتم ربطهما بلوح الدائرة المطبوعة PCB بتكنولوجيا التثبيت من خلال الفتحات. كُلّ العناصر الأخرى مثبتة باستخدام الأغلفة سطحية التثبيت كما بالشكل رقم(١-٢،٢٣) . هذه هى الطريقةُ الأكثر شيوعاً المستخدمة لتَجميع المُنتَجاتِ الإلكترونية. التجميع هو عملية بخطوتينِ حيث تتضمّنُ وَضْع كُلّ الأجزاء المثبّتة سطحياً ولحامها في أماكنها بنظام اللحام بالمعجون solder reflow system، ثمّ ادخال كل الاجزاء ذات التثبيت من خلال الفتحات ولحامها في مكانها بتشغيل اللحام الموجي. بدلاً من ذلك، التثبيت من خلال الفتحاتِ قَدْ يكُون مَلْحُوم يدوياً إذا كانت الكميةِ صغيرةُ.

١-٧-٣ تثبيت سطحي على جانب واحد فقط
:Surface-Mount, One Side Only

هذا النوعِ مِنْ التغليف يُصنع من الأجزاءِ المثبّتة سطحياً جميعها مثبت على نفس الجانب للوح الدائرة المطبوعة كما بالشكل رقم(١-٢٣،٣) . التجميع عبارة عن عملية من خطوةٍ واحدةٍ حيث تَتضمّنُ وَضْع كُلّ العناصر ولحامها في مكانها باستخدام نوع من اللحامِ يطلق عليه معجون اللحام ويصهر في فرنsolder reflow.

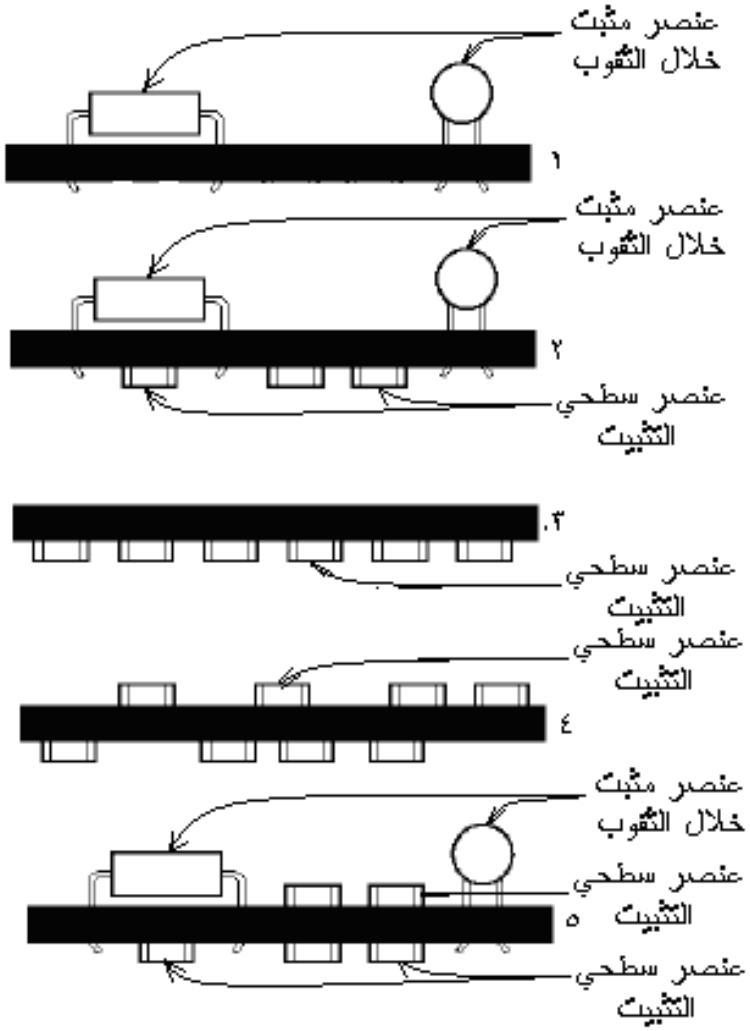
١-٧-٤ تثبيت سطحي على كلا الجانبين
:Surface-Mount, Both Sides

يَحتوي هذا النوعِ مِنْ التغليف عناصر مثبّتة سطحياً على كلا الجانبينِ، الشكل رقم(١-٢٣،٤). التجميع هنا عبارة عن عملية مكونة من خطوتين حيث تَتضمّنُ وَضْع بعض العناصر سطحية التثبيت على أحد الجانبين ولحامها بمعجون اللحام، ثم تتَلى بوَضْع عناصر الدائرة الباقية على الجانبِ الآخرِ ولحامها بمعجون اللحام. بالأضافة إلى عمليات التجميع الأكثر تعقيداً، تصمّيمُ واختبارُ هذا النوعِ مِنْ التجميع أكثر تعقيداً، بينما تَشتركُ أجزاءُ في نفس المنطقةِ في أغلب الأحيان على الجوانبِ المعاكسةِ للوح الدائرة المطبوعة PCB، مسبّبة تعارضات عندما تُحاولُ تَحديد مكان نقاط العبور vias ونقاطَ الاختبار.

١-٧-٥ تثبيت سطحي على كلا الجانبين مع التثبيت خلال الفتحات
:Surface-Mount, Both Sides with Through-Hole

بينما يَدْلُّ الاسمُ عليه، يَحتوي هذا النوعِ من التغليف على أجزاءَ مثبّتة سطحياً على كلا الجانبينِ، بالإضافة إلى أجزاءِ تثبت من خلال الفتحات مثل المقابس connectors كما بالشكل رقم(١-٢٣،٥). في أكثر الحالاتِ، المكوّنات المثبّتة سطحياً على أحد الجوانب تكون غير فعالة (غير نشطة) passives، مثل مكثّفاتِ الامرار الجانبي bypass capacitors ومقاومات التي يُمْكِنُ أَنْ تُقاوم خلالِ مرورها اللحام الموجي. التجميع عبارة عن عملية ثلاثية الخطوة حيث تَتضمّنُ وَضْع العناصر سطحية التثبيت على الجانبِ الأساسي ولحامها بمعجون اللحام. بمجردِ ما أن يكتمل هذا،

الجانب الثانوي تلصق العناصر السطحية في مكانها، بينما يتم ادخال عناصر التثبيت خلال الفتحات ، ويتم ارسال اللوح خلال حوض اللحام الموجي.



شكل رقم (١-٢٣) يوضح أنواع تكنولوجيا تجميع العناصر السطحية والتقليدية على لوح الدائرة المطبوعة

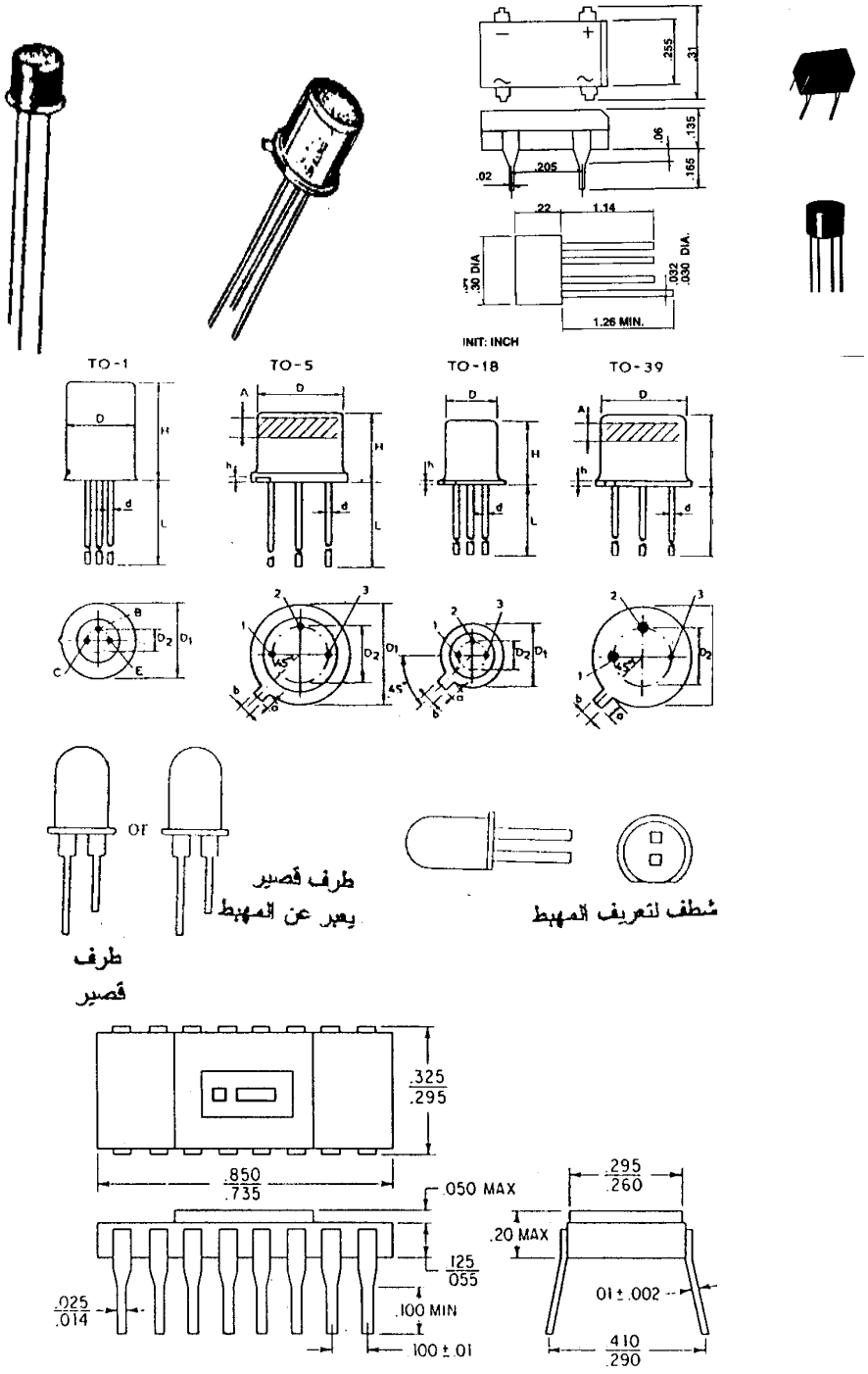
بسبب العملياتِ الإضافيةِ وتعرّضِ المكوّناتِ على الجانبِ الثانويِ إلى اللحام المنصهر، هذا النوعِ مِنْ التجميع عرضة للعديد مِنْ عيوب التجميع. من المُهمِ مُلاحَظَة أن لحام الاجزاء ذات الخطوة الدقيقة fine-pitch على الجانب الثانويِ يستخدم اللحام الموجي الذي يُؤدّي إلى التقنطر نتيجة للفرط في اللحام حيث يَجِبُ أَنْ يُتفادى. بالإضافة، العناصر النشيطة، مثل الدوائر المتكاملة ICs، قَدْ تكُون متضرّرة نتيجة التعرّضِ للتسخين المفرط.

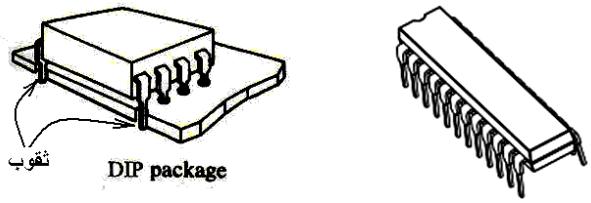
١-٨ أنواع أغلفة العناصر
:COMPONENT PACKAGE TYPES

بمرور الوقت، تطورت تشكيلة عريضة مِنْ الأغلفة لإحتواء العناصر. إخْتيارَ نوعَ الغلاف الصحيحِ لكُلّ عنصر هو أحد أهم الأجزاءِ في عملية التصميمِ وكذا تحديد أدنى مساحة للوح الدائرة المطبوعة. وقد تُؤثّرَ أنواع الأغلفة المختارة على سهولةِ التصميمِ، والتجميع، والإختبار، وإعادة التشغيل، وأيضاً تكلفة المُنتَج وتوفر العنصر.

١-٨-١ الأغلفة التقليدية للعناصر الالكترونية
:(Through-Hole Mount packages) Conventional packages

هذا الصنفِ مِنْ العناصر مُمَيَّزُ بالأجزاءِ التي لَها سلكُ أَو أرجل أو اطراف مشكّلة. هذه الأرجل تعبر من خلال الفتحاتَ المثقبة أَو المخرومة في لوح الدائرة المطبوعة PCB وتَلْحمُ إلى الأرضي على الجانبِ الخلفيِ أَو للطبقة المطَلية على حوائط الفتحاتِ. هذا النوع من التغليف الأصليِ مستعمل للعناصر الإلكترونيةِ التقليدية. المنفعة الرئيسية للمكوّناتِ المثبتة من خلال الفتحات هو حقيقة أنّ كُلّ رجل عنصر تمر خلال اللوح المطبوع PCB. بسبب هذا، هناك وصول آلي إلى أى طبقة من طبقات اللوح المطبوع PCB لتنفيذ التوصيلات. كُلّ رجل تصبح متوفرة أسفل اللوح المطبوع PCB، لذا كانت وسيلة الاختبار سهلة للتنفيذ. بوصولِ المكوّناتِ المثبّتة سطحياً، اصبح التثبيت من خلال الفتحات مستعمل أساساً للمقابس والوحدات ذات البلج أو ذات الحجم الكبير مثل المعالجات الدقيقةِ microprocessors تثبت في الاغلفة PGA.


INIT: INCH
1.26 MIN.
TO-1
TO-5
TO-18
TO-39
or
طرف قصير
يعبر عن المهبط
شطف لتعريف المهبط
طرف
قصير
.325
.295
.850
.735
.050 MAX
.125
.055
.025
.014
.100 MIN
.100 ± .01
.295
.260
.20 MAX
.01 ± .002
.410
.290



تغليف ذو صفين من الاطراف يثبت من خلال ثقوب اللوح

شكل رقم (١-٢٤) يوضح أغلفة العناصر التقليدية والتي تحتاج للثقوب الخلالية لتثبيتها على اللوح

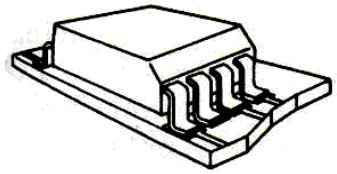
أغلفة العناصر المثبتة من خلال الفتحات تُفضّلُ في أغلب الأحيان للدوائر المتكاملة ICs والمكوّنات الأخرى التي تستنفذ كميات كبيرة للحرارةِ، بسبب السهولةِ النسبيةِ مع ادوات التسريب الحراري يُمْكِنُ أَنْ تثبت بها. بالإضافة، من الأسهلُ كثيراً تَزويد مقبس socket لعنصر التثبيت خلال الفتحات. هذا يخفّفُ مهمّةُ تغيير الأجزاءِ القابلة للبرمجةِ programmable parts والمعالجات الدقيقةِ microprocessors متى كان من الضروريُ ترقية أى نظام.

تحذير: الدوائر التكاملية المغلفة بتغليف العناصر المثبتة من خلال الفتحات تُصبحُ صعبة عند إيجاد المكافيء ذو التثبيت السطحي ويَجِبُ أَنْ نتفاداها في التصميمِات الجديدةِ ما لم تكن العناصر متوفرة في حياةِ إنتاجَ التصميمِ.

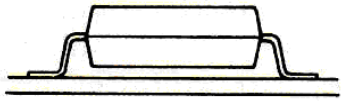
١-٨-٢ أغلفة العناصر السطحية Surface Mount Packages:

هذا النوعِ من التغليف هو الإختيارُ السائدُ لتغليف العناصر الإلكترونيةِ لكُلّ نوع، شاملاً المقابس. خاصيتها الاساسية هو أن كُلّ التوصيلات بين ارجل العنصر واللوح المطبوع PCB أَو البنية التحتية substrate يجْعَلها تتم مَع نقطة ربط ألى الوسادة على سطح اللوح المطبوع. وهذا لَهُ حسنات وسيئات. على جانبِ الفائدةَ، حيث ليس هناك فتحات مطلوب تَثْقيبها على اللوح المطبوع PCB، فضاء توزيع أسلاك على الطبقاتِ الداخليةِ وعلى الجانبِ العكسي لَمْ تُستَهلكْ بفتحاتِ ارجل العنصر. بسبب هذا، فإنه من المحتملُ عادة لرَبْط اللوح المطبوع PCB في طبقاتِ أقل عِنْ ما سَيَكُونُ مع الأجزاءِ ذات التثبيت من خلال الفتحات. المنفعة الأخرى والأكبر هى حقيقة أنّ العناصر

المثبّتة سطحياً دائماً أصغر مِنْ مكافئاتِها التقليدية، جاعلة من الممكن تثبيت أجزاءِ منها أكثرِ في نفس المنطقة المُعطاة.

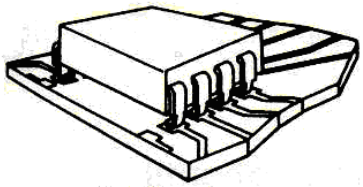


SOIC plastic package

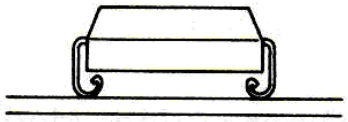


Gull wing

تغليف ذو صفين من الاطراف على شكل أجنحة طائر النورس يثبت سطحياً

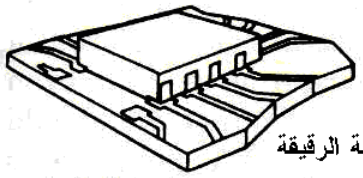


PLCC package



J-Lead

تغليف ذو صفين من الاطراف على شكل حرف J يثبت سطحياً



تغليف بدون أطراف بارزة و حامل للشريحة الرقيقة

LCCC leadless ceramic chip carrier

شكل (١-٢٥) يوضح تكنولوجيا أغلفة عناصر التثبيت السطحي

الأضرار الرئيسية للعناصر المثبّتة سطحياً تَنْجمُ من حقيقة أنه ليس هناك أرجل لإمْساكها بسهولة بمَسابرِ الاجهزة instrumentation probes والتي هناك قَدْ لا تَكُون وصولَ إلى الأدلّةِ مِنْ الجانبِ العكسي لأغراضِ إختبار الإنتاجِ. هذا يُسبّبُ الحاجةِ لإضافة وسادة إختبارِ إلى أكثر الشبكاتِ على الجانبِ الخلفي لكي يُؤدّي إختبارَ إنتاجِ. يُسبّبُ هذا الحاجةِ أيضاً للوصلاتِ المعقّدةِ الغاليةِ جداً لكي تُزوّدَ الوصولَ إلى الأرجل على وحدات المعالجاتِ processors والعناصر المعقّدةِ الأخرى لتقصّي مدخلاتها ومخرجاتها عندما تُؤدّيانِ العملَ التشخيصيَ.

هناك ضرر آخر لحد الآن مِنْ الأجزاءِ المثبّتة سطحياً يَنْجمُ عن حجمِها الصغيرِ. حيث نجد هذا أكثر صعوبةً لإزالة الحرارةِ مِنْ أغلفة SMT عن العناصر المكافئة التقليدية. في بعضِ الحالات، مثل المعالجاتِ العالية الأداءِ، نجد أن الحرارة المولدة بواسطة الدوائر المتكاملة IC عالية جداً للسَماح للتشغيل الصحيحة في غلاف SMT.

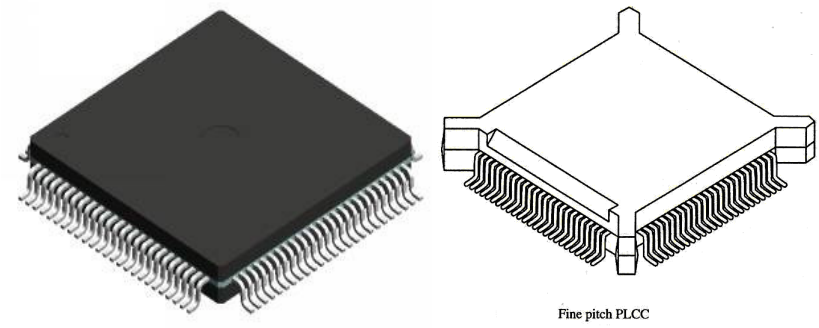
١-٨-٣ التغليف ذو الخطوة الدقيقة Fine Pitch:

الخطوة الدقيقة Fine pitch هى صنف خاص مِنْ العناصر المثبّتة سطحياً. هذا الصنفِ مُمَيَّزُ بخطوات ارجل أقل من ٠،٦٥ من المليمتر (٢٥ مل). خطوات هذه الارجل الدقيقة تكون عادة مدفوعة بعدد عالي جداً من الارجل (160) ASICs ارجل دبوسية وأكثر أَو بمتطلباتِ تصغيرِ متطرّفةِ لبطاقات Pcmcia (جمعية صناعةِ بطاقةِ ذاكرةِ حاسوبِ شخصيةِ)

Personal Computer Memory Card Industry Association

و PDAs (personal digital assistants)،

ومُنتَجات عالية الأداء صغيرة أخرى. الحافز لتَعيين صنف العنصر ذو الخطوة الدقيقة الخاصة من الاجزاء المثبتة سطحياً هو الصعوبةُ الإضافيةُ للاختبار بنجاح، والتَجميع، وإعادة التشغيل لهذه الأجزاءِ على PCBs، وكذلك في بناء PCBs مَع دقّة الأنماطُ المتكونة وقناع اللحامُ المُشَكَّلُ للتزاوج بأرجل الأجزاءِ ذات الخطوة الدقيقة. الأجزاء الدقيقة الخطوة هى مصدرَ أكثر الصِناعَات عيوباً في خطوط نظام تجميع SMT. تَنْجمُ العيوبُ عن قلةِ تماس الارجل لمستوى واحد coplanarity، انثناء الارجل، لحام غير كافي على نقاط التماس، وإصطفاف سيّئ للأرجل مع الأنماطِ على PCB.



شكل رقم (١-٢٦) يوضح أغلفة ذات خطوة دقيقة

يَتضمّنُ إستعمال الصناعةِ الناجحة لمكوّناتَ الخطوة الدقيقة تعاونِ ضيّقِ جداً بين مصممِ اللوح المطبوع PCB، وصانع اللوح المطبوع PCB، ومنتج العنصر، والقائم على تجميع واختبار اللوح المطبوع. دائما يَتضمّنُ هذا تجميع مُتَخَصّص تقريباً، وإختبار، وادوات اعادة تشغيل tooling. التصميم هو المَعْمُولُ جداً في أغلب الأحيان بإجتِماع سلسلة من إجتماعاتِ موظفي هندسة كُلّ هذه المجموعاتِ لتَطَوُّير مجموعة القواعدِ، والعمليات، والأجهزة ، والادوات، والمكوّنات. تَحتاجُ هذه الإجتماعاتِ للبَدْء في مرحلةِ تطويرِ المُنتَجَ والاستمرار في التعرف على اشكال ومقاسات الوسادة المناسبة واستقرار طريقةَ الإنتاج .

١-٨-٤ تغليف الرقاقة على لوح الدائرة المطبوعة مباشرة chip-on-board (COB) packaging

الرقاقة على لوح الدائرة المطبوعة مباشرة Chip-on-Board, or COB ، يُشيرُ إلى تكنولوجيا تجميع شبهَ الموصل عن طريق التثبيت المباشر للرقاقةَ الدقيقة microchip أَو القالب (الكفة) والموصلة كهربائياً إلى لوح الدائرة المطبوعة النهائي، بدلاً مِنْ أنْ يَمْرَّ بالتجميع التقليدي أَو التغليف كدائرة متكاملة مفردة ومستقلة. إزالة الأداةِ التقليديةِ للتغليف مِنْ تجميع طريقة COB تُبسّطُ العمليةَ برمتها لتَصميم وتَصْنيعَ المنتج النهائي، بالإضافة إلى تحسّينُ أدائَه كنتيجة لطرقَ الترابطِ ذات الاطراف الأقصر، الجدول رقم (١-٥) يوضح عائلة التغليف المباشر على اللوح.

المصطلح العامَ لتكنولوجيا COB في الحقيقة يعني ' الإرتباط المباشر للرقاقة '، أَو ' direct chip attachment', or DCA. ماعدا البطاقات الإلكترونية المستعملة في COB ، هناك ألواح بنية تحتية مُخْتَلِفة ومتوفرة للإستعمالِ في DCA. هناك، على سبيل المثال، ألواح بنية تحتية خزفية (سيراميك) وزجاجية خزفية تمتاز بخصائص العزل والحرارية الممتازةَ. بينما الواح البنية التحتية العضوية الأقل وزناً وتكلفةً والتي تعطي ثابت عزل منخفض تَجِدُها أيضاً مستخدمه. هناك أيضاً ألواح بنية تحتية مرنة flex substrates التي لَديها القدرةُ على الإنحْناء. تجميعات DCA أخذت عدد مِنْ الأسماءِ الأخرى غير 'COB' مستند على نوعية ألواح البنية التحتية المتوفرةِ، ومثال على ذلك: -، تثبيت الرقاقة على لوح بنية تحتية زجاجيَ يأخذ المسمي الانجليزي chip-on-glass

(COG)، تثبيت الرقاقة على لوح بنية تحتية مرن يأخذ المسمي الانجليزي chip-on-flex (COF) ،.. الخ.

تتكون عملية COB فقط من ثلاث خطواتِ رئيسيةِ:

١) ربط أو تثبيت القالب أو الكفة die attach or mount ؛

٢) الربط بالاسلاك wirebonding؛ و

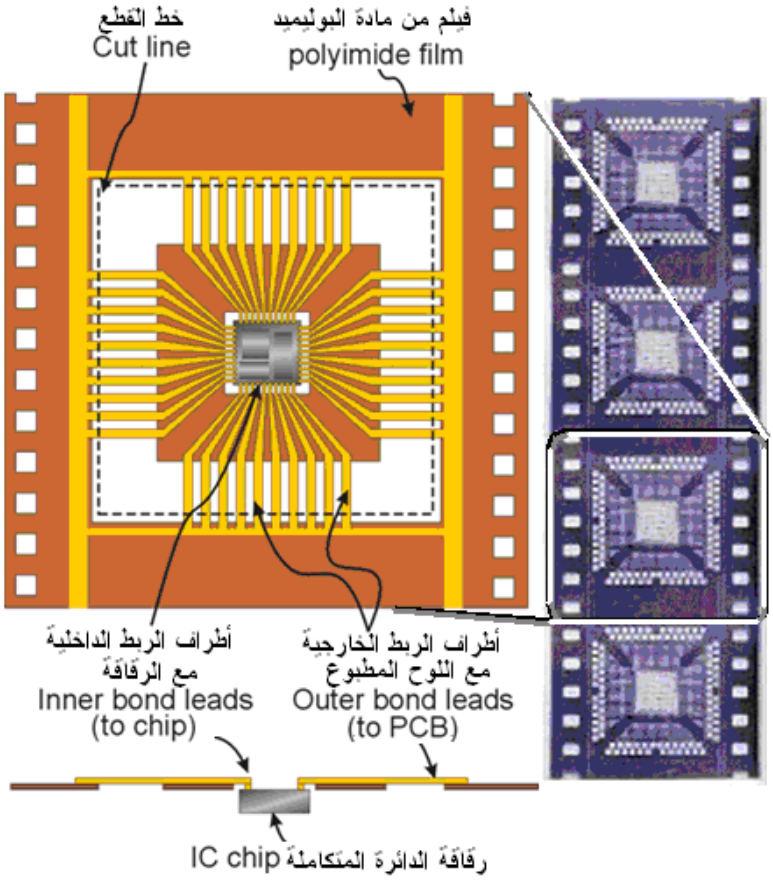
٣) كبسلة encapsulation الكفة أو القالب والأسلاكِ معاً.

الجدول رقم (١-٥) يوضح عائلة التغليف المباشر على اللوح

Technology	SMD	Chip On Board		
		Wire Bonding	TAB	Flip_chip
Cross Section				
Packaging density	Low	Low _ Medium	Medium _ High	High
Time	Today	Future ⟶		

١-٨-٤-١ التغليف الشريطي TAB

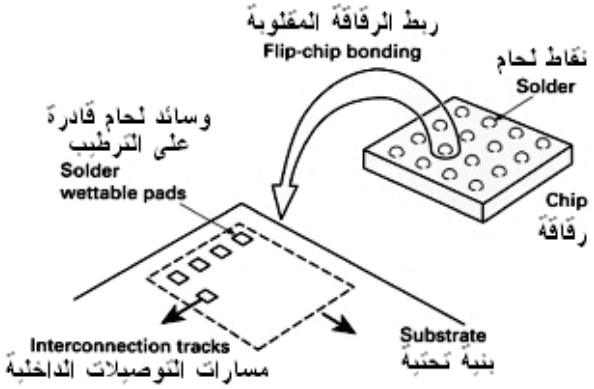
ينسب المختصر TAB الربط الآليَ للشريطَ tape-automated bonding، حيث يعتبر تكنولوجيا للرَبْط العاري لكفة الدوائر المتكاملة IC إلى لوح الدائرة المطبوعة. وفيها يَستعملُ إطار الارجل المصغّرةِ الذي يَرْبطُ مباشرة إلى وسائد اللصق لأى دائرة متكاملة IC عند نهاية واحدة، يَنتشرُ للخارج إلى خطوة أكبر بكثير، ويَرْبطُ بالوسائد على اللوح المطبوع PCB. إنّ الشريطَ في العنوانِ يَصِفُ الطريقةَ لحَمْل الأجزاءِ قبل التجميع، حيث الشريط بإطارِ ارجل والدائرة المتكاملة IC مثبتة إليه. يتم لف الشريطَ على بكرة لتداوله. إنّ تطبيقَ مبدأ مكوّناتِ الشريط TAB هى مُنتَجاتُ مثل أجهزةِ البيجر pagers والهواتفِ النقّالةِ portable phones التي تصنع في حجمِ عالٍي جداً ويُمْكِنُ أَنْ يُبرّرَ الأتمتةَ المتضمنة في رَبْط الأجزاء على الشريط إلى البنية التحتية. الشكل رقم (١-٢٧).



شكل رقم (١-٢٧) يوضح التغليف الشريطي TAB

١-٨-٤-٢ الرقاقة المقلوبة Flip Chip

الطريقة الاخرى لتجميع COB، هو الرقاقة المقلوبة على اللوح flip-chip on board (FCOB)، حيث لا يَتطلّبُ الربط بالاسلاك wirebonding ويُستخدمْ وسائد الرقاقة التى يتم قلبها حتى تتطابق هذه الوسائد مع نقاط الهبوط بلوح الدائرة المطبوعة شكل رقم (١-٢٨)، وكما هو واضح من قلب الرقاقة لجعل وجهها لأسفل في اتجاه اللوح سميت باسم الرقاقة المقلوبة 'flipchip' . وبعيداً عن الكبسلة encapsulation، من الضروريُ أيضاً الحشو اسفل الرقاقة "underfill' لحِماية سطحِها النشطِ وصدماتِه مِنْ ضررِ الميكانيكا الحرارية و الدمار الكيميائي.



شكل رقم (١–٢٨) يوضح طريقة قلب الرقاقة ولحامها على اللوح المطبوع مباشرة

مِنْ هذا الوصفِ، يُمْكِنُنا أَنْ نرى هذا بأنه طريقة تغليف متخصصة جداً. تحْدثُ هذه الحالةِ تقريباً بشكل خاص في الاداء العالي جداً للحاسبات العملاقة حيث الدوائر المتكاملة ICs كَانتْ مصمّمة خصيصاً للتطبيقِ أَو في تطبيقاتِ الحجمِ العاليةِ جداً مثل أجهزةِ البيجر والهواتف الخلوية.

١-٨-٤-٣ القالب العاري المربوط بالاسلاك
Wire-Bonded Bare Die

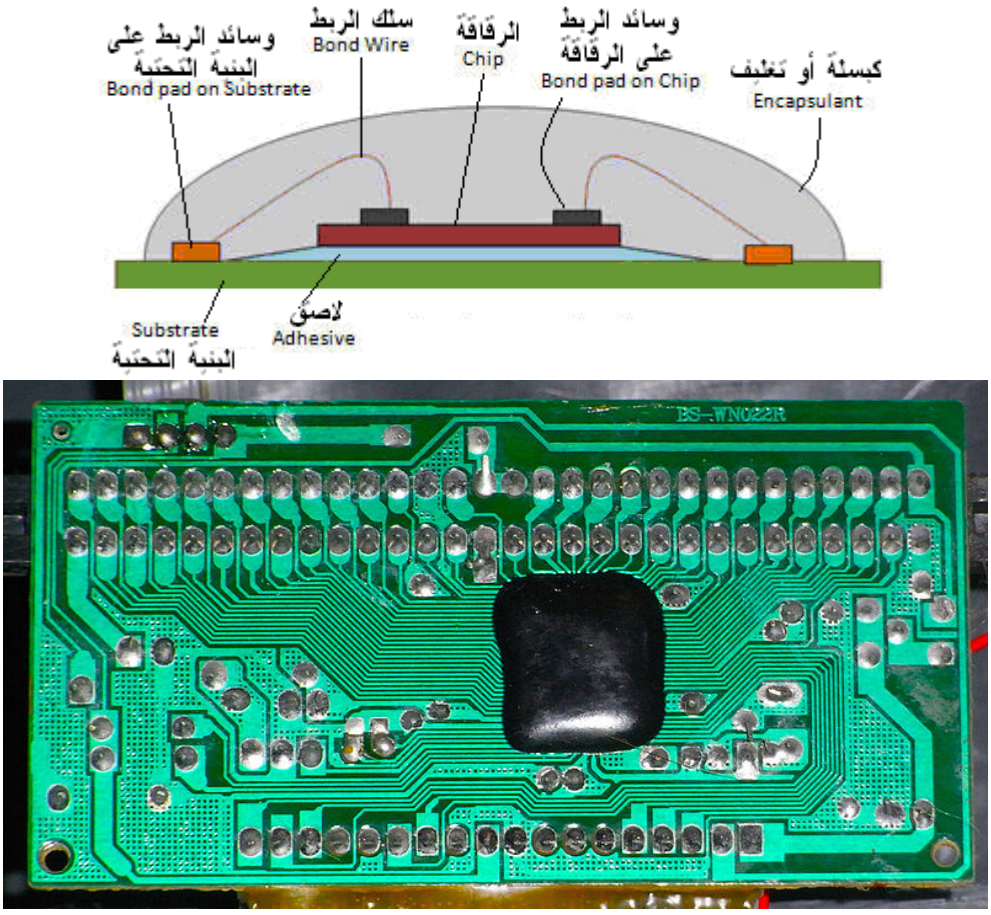
تتكون عملية COB في هذا النوع فقط من ثلاث خطواتِ رئيسيةِ:

١) ربط أو تثبيت القالب أو الكفة die attach or mount ؛

٢) الربط بالاسلاك wirebonding؛ و

٣) كبسلة encapsulation الكفة أو القالب والأسلاكِ معاً.





شكل رقم (١-٢٩) يوضح تغليف الرقاقة على لوح الدائرة المطبوعة مباشرة

بينما يَدْلُّ الاسمُ عليه، تَتضمّنُ هذه الطريقةِ مِنْ التجميع رَبْط كفة IC عارية بشكل مباشر إلى البنية التحتية substrate بإستعمال لاصق أَو معجون لحام وتوصيل وسائد الإلتِصاق bonding pads إلى الوسائد على PCB باستخدام تقنياتِ سلكِ الربط. عملياً كُلّ الساعات الإلكترونية digital watches والعديد مِنْ المنتجات الاستهلاكية المماثلة الأخرى تَستعملُ تقنيات التجميع هذه. وهى رخيصة جداً عندما تستعملَ في منتجات الحجمِ العالي جداً مَع فقط دائرة متكاملة مفردة لتوصيلها.

١-٨-٥ تغليف مصفوفة الكرات الشبكية BGA

تعرف العناصر ذات التغليف BGA أَو مصفوفة شبكة الكرات ball grid array على أنها تكنولوجيا جديدة نسبياً وهى تتقاطع بين مصفوفات شبكة الدبابيس والتثبيت السطحي. تثبت كفة الدائرة المتكاملة عالية الدبابيس على البنية التحتية لمتعددة الطبقات المصنعة من السيراميك أو مادة عضوية. يتم توصيل الكفة إلى البنية التحتية باستعمالُ الاساليب القياسية لسلك الربط وتغلّف في إبوكسي epoxy أَو شكل آخر من أشكال الغطاءِ. الجانب السفلي للبنية التحتية يَحتوي أى مصفوفة لكرات لحامِ ذات درجةِ إنصهار عاليةٍ والتي يتم توصيلها بوسائد الربط السلكي wire-bond pads خلال البنية التحتية متعددةِ الطبقات. تتُزاوجُ هذه الكراتِ مَع مصفوفة مماثلة مِنْ الوسائد على اللوح المطبوعPCB ويتم لحامها بمعجون اللحام أثناء نفس العمليةِ مع كُلّ الأجزاء المثبّتة سطحياً الأخرى. (راجع الشكل رقم ١-٢٦)

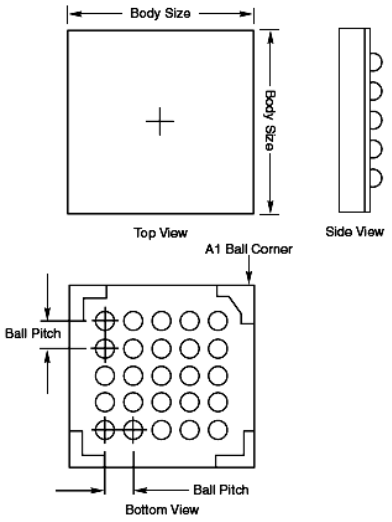
جاءت تكنولوجيا BGA كبديل للدوائر التكاملية ذات عدد الدبابيسِ العالية high-pin-count، وهى ذات الخطوة الدقيقة للعناصر سطحية التثبيت SMT من الدوائر المتكاملة ICs. كما هو مذكور في وقت سابق، نجد أن عملية تجميع غلاف العدد العالي للدبّابيسِ high-pin-count، للأجزاء سطحية التثبيت SMT ذات الخطوة الدقيقة صعبةُ جداً، بالاخص للطبيعةِ الهشّةِ لأطراف العنصر. تمثل العناصر BGAs تغليف متين للغاية أثناء إختبارِ مستويٍ العنصر وأثناء التجميع.

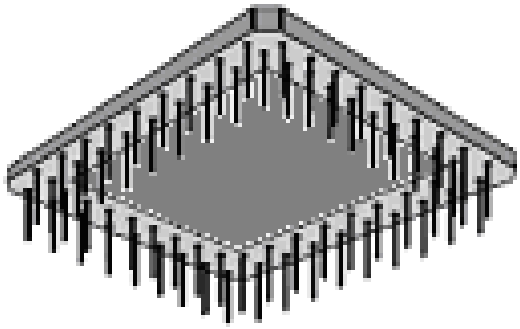
كَمَا هو الحَال مَعَ أغلب التقنياتِ، هناك بَعْض العيوب للأغلفة BGAs. كما يلي:

- نقاط اللحام تصبح مختفية عن النظر، لذا فإن فحصها يَتطلّب أشعة سينيةَ.
- نقاط اللحام تصبح غير سهلة الوصولَ لإعادة تشغيلها واصلاحها، لذا فإن عملية اللحام يَجِبُ أَنْ يكونَ لديها نسبة نجاحِ عاليةِ جداً.
- إزالةُ هذا الجزءِ يتطلب أدوات خاصة.
- النمط على سطح اللوح المطبوع PCB عبارة عن مصفوفة من الوسائد التي تتطلّبُ مسارات خلال اللوح المطبوع PCB، مما يُعيقُ التوجيه routing .
- كُلّ ارجل العنصر مُرَكَّزة في منطقة أصغر بكثير مِنْ الجزءِ المكافئِ في أغلفة العناصر سطحية التثبيت ذات الخطوة الدقيقة. هذا يركز توزيع الأسلاك في منطقة صغيرة مثقبة مَع

الكثيرِ من نقاط العبورvias. كنتيجة، اللوح المطبوع PCB BGA لديه طبقاتُ توزيع أسلاك أكثرِ من المكافئة للوح المطبوع SMT PCB.

- الغلاف BGA أغلى مِنْ الغلافSMT المكافيء ذو الخطوة الدقيقة، بمقدار ثلاث مراتِ.





شكل رقم (١-٣٠) يوضح تكوين مصفوفة شبكة الكرات ball grid array وشبكة الدبابيس pin grid array

تمارين

١. "يعتبر لوح الدائرة المطبوعة منتج مرحلي و ليس نهائي" ناقش هذه العبارة .
٢. مما يتكون لوح الدائرة المطبوعة الخام ؟ ناقش كل مكون على حده.
٣. ما هى المواصفات التي يشترى على أساسها لوح الدائرة المطبوعة؟
٤. ما هى المادة العازلة واللاصقة لألواح الدوائر المطبوعة FR-4 و G-10 و FR-3 وماهى أهم الملاحظات لها عند الاستخدام؟
٥. ما هى أنواع ألواح الدوائر المطبوعة على أساس عددِ طبقات layers توزيع الأسلاك؟
٦. ما هى وسائل ربط طبقتى اللوح المطبوع ثنائي الجانب، دعم إجابتك بالرسم؟
٧. ارسم قطاع للوح دائرة مطبوعة ذو ثمانية طبقات مع التوضيح بكتابة البيانات.
٨. عرف ألواح الدوائر المطبوعة الصلّبة والمرنة؟
٩. قارن بين ألواح الدوائر المطبوعة المؤسسة على الاشارات التماثلية والرقمية من ناحية :
درجة التعقيد – توافق الممانعة – فقد الاشارة – حجم العناصر – عدد الطبقات – الدقة – ثابت العزل.
١٠. أذكر خصائصِ الألواح المطبوعة التماثلية والراديوية والميكروبفية التي يجب مراعاتها عند تصميم لوح الدائرة المطبوعة؟
١١. أذكر خصائصِ الألواح المطبوعة الرقمية التي يجب مراعاتها عند تصميم لوح الدائرة المطبوعة؟
١٢. اشرح مع الرسم طرقِ لحام العناصر بألواح الدوائر المطبوعة.
١٣. اشرح مع الرسم طرقِ تثبيت العناصر بألواح الدوائر المطبوعة.
١٤. ناقش أغلفة العناصر التقليدية والمثبتة سطحياً وما تأثيرها على تكنولوجيا صناعة ألواح الدوائر المطبوعة؟

الباب الثاني

العناصر المثبتة

على لوح الدائرة المطبوعة

The mounted components on Printed Circuit Board

الباب الثاني

العناصر المثبتة

على لوح الدائرة المطبوعة

The mounted components on Printed Circuit Board

٢-١ مقدمة :

خصص هذا الباب تحت مسمى "العناصر المثبتة على لوح الدائرة المطبوعة" نظراً لأهميته بالنسبة للطالب الذي يبدأ دراسته في علم هندسة الالكترونيات. يجب أن يفهم الطالب المبتديء أن عناصر الشكل التخطيطي Schematic للدائرة الالكترونية ليست بكاملها سوف تثبت على لوح الدائرة المطبوعة. فمفتاح تشغيل الدائرة ذو التكوين الميكانيكي والمعروف عامة بمفتاح الوصل/الفصل ON/OFF لايجب تثبيته على لوح الدائرة المطبوعة كمنتج نهائي للدائرة موضوع الحديث، حيث أن هذا اللوح المطبوع يعتبر وحدة ضمن وحدات الجهاز أى كمنتج مرحلي حيث سيثبت داخل كابينة الجهاز ولن يكون في متناول المستخدم حتى يتمكن من وصل أو فصل الدائرة لجهد التغذية الكهربائية. وعلى ذلك يجب تثبيت جسم مفتاح التشغيل هذا في مكان يمكن الوصول إليه بسهولة وهنا نجد أن واجهة الجهاز هى المكان المنطقي لتثبيت هذا المفتاح. ويبقى على لوح الدائرة

المطبوعة أطراف هذا المفتاح على هيئة وسائد نحاسية أو أطراف توصيل حيث يتم ربط الوصلات البينية بينها وبين الاطراف الموجودة على جسم المفتاح المثبت في واجهة الجهاز.

وهناك أيضا مثال آخر يمكننا أخذه في الاعتبار وهو محول القدرة الكهربائية الذي يستخدم في دائرة تغذية القدرة لأى دائرة إلكترونية، حيث من صفاته : الوزن الثقيل، وارتفاع درجة حرارته، والمجالات المغناطيسية الصادرة منه، كل هذه الصفات تدفعنا إلى رفعه من لوح الدائرة المطبوعة ووضعه منفرداً ومستقلاً في كابينة الجهاز وبعيداً عن لوح الدائرة المطبوعة. كما أن هناك مصابيح البيان التي تستخدم في الاجهزة لإشعار مستخدمه بالوظائف التي يقوم بها الجهاز هى الأخرى لايمكن تثبيتها على لوح الدائرة المطبوعة الذي يثبت بدوره داخل الكابينة فلا يظهر للمستخدم أى شيء، هذا إلا إذا كان وضع اللوح المطبوع داخل الكابينة سيؤدي إلى إظهار مصباح البيان خارج الكابينة من خلال ثقب بها.

هكذا كما رأينا أن الخطوة الأولى في تنفيذ أى دائرة الكترونية وتصنيع جهاز إلكتروني مكتمل الأركان، ضرورة قراءة الشكل التخطيطي للدائرة الالكترونية المراد تنفيذها، والتعرف على عناصرها وصفاتها ومحاولة إخراج كافة العناصر التي يستحال تثبيتها على لوح الدائرة المطبوعة نظراً للعوامل التي ذكرناها فيما سبق وعوامل أخرى. ويكتفى على لوح الدائرة المطبوعة تمثيل هذه العناصر المرفوعة بوسائد أو أطراف توصيل مدون عليها الاسم الاسنادي للعنصر.

هذه العناصر المرفوعة من التثبيت على لوح الدائرة المطبوعة لابد من تحديد أماكنها جيداً على كابينة الجهاز هل ستثبت على مقدمة أو مؤخرة أو جوانب الكابينة لتيسير استعمالها من قبل المستخدم أم أنها ستثبت داخل الكابينة فقط. كل هذه الامور مهمة وبعد رفع هذه العناصر يعاد رسم الشكل التخطيطي Schematic للدائرة والذي سيستخدم في توليد وانتاج الشكل العملي Layout للوح الدائرة المطبوعة .

بعد اكتمال تصميم الشكل العملي وتصنيع لوح الدائرة المطبوعة يتم تجميع العناصر الالكترونية عليه ولحامها ويبقى هذا اللوح المطبوع وحدة من وحدات الجهاز يرافق كل العناصر المرفوعة منه

بإعتبارها وحدات، كل منها يثبت في داخل الكابينة حيث يتم الربط فيما بينهم بواسطة الوصلات السلكية البينية التي تعرف بعد تثبيتها تثبيتاً ميكانيكيا بضفيرة الجهاز.

سنقوم في هذا الباب بسرد الخطوات الهامة عند تنفيذ أى دائرة الكترونية تحت عنوان "محتويات ملف التصنيع للأجهزة الالكترونية" ثم نحاول تجسيد هذه الخطوات في تجهيز ملف وحدة تغذية قدرة كهربائية في نهاية الباب الغرض من هذا كله هو تعريف الطالب المبتديء أن الشكل التخطيط للدائرة الالكترونية ليس كل عناصره تثبت على اللوح المطبوع بل يجب رفع العناصر ذات الاستخدام الخاص وتثبيتها في الاماكن المناسبة.

٢-٢ محتويات ملف التصنيع للأجهزة الإلكترونية :

عند الشروع في تنفيذ دائرة إلكترونية يجب إتباع الخطوات التالية:

٢-٢-١ الشكل التخطيطي للدائرة المراد تنفيذها و معرفة نظرية تشغيلها

وذلك من الشكل التخطيطي schematic diagram الذي يوضح طريقة إتّصالَ الأجزاءِ أو العناصر الالكترونية على اللوح. كُلّ جزء على الشكل التخطيطي يَجِبُ أَنْ يكونَ لديه مسمى اسنادي reference designator يتوافق مع المسميات الاسنادية المعروضة في فاتورة المواد Bill of Materials (BOM). العديد مِنْ برامجِ تصميم الشكل العملي layout تَسْمحُ بالتوليد الآلي لفاتورة المواد.

٢-٢-٢ قائمة العناصر أو الأجزاء أو فاتورة المواد

Part List - Bill of Materials (BOM)

تحتوي على التسمية الاسنادية والاسم التجاري أو مواصفة شائعة لشرائها موضحاً الكمية وسعر الوحدة. الأجزاء الّتي ستثبت على لوح الدائرة المطبوعة يَجِبُ أَنْ تُفصّلَ في قائمةِ الأجزاءَparts list . كُلّ جزء يَجِبُ أَنْ يعرف بواسطة مسمى اسنادي موحد unique reference designator ووصف للجزءِ (وبمعنى آخر: مقاومة قد تأخذ تعريف اسنادي R1 مع وصف القدرة المبددة لديها ونوع مادة صناعتها مثلا "1/2 Watt Carbon Film resistor"). أيّ معلومات إضافية مفيدة

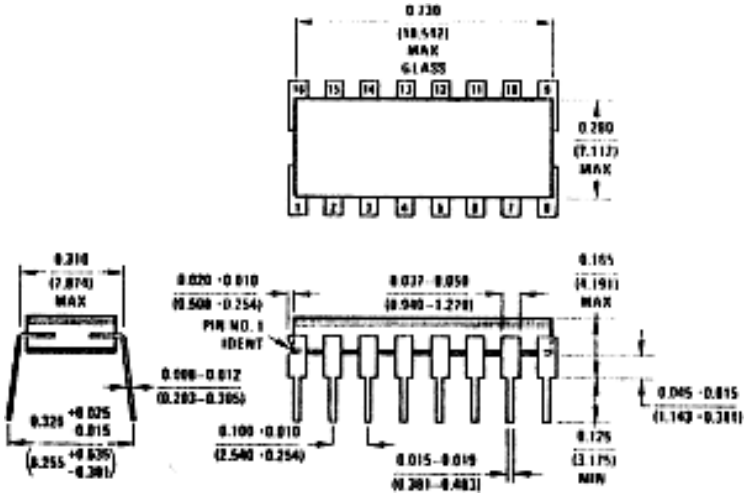
لعمليةِ التجميع يُمْكِنُ أَنْ تكتب في هذه القائمةِ، مثل كيفية تثبيت العنصر، مباعدة هذا العنصر، الاحتياج إلى سوكت من عدمه، أَو أيّ مادّة أخرى لَيستْ معروضةَ في الشكل التخطيطيِ.

٢-٢-٣ صفحات البيانات لكل عنصر

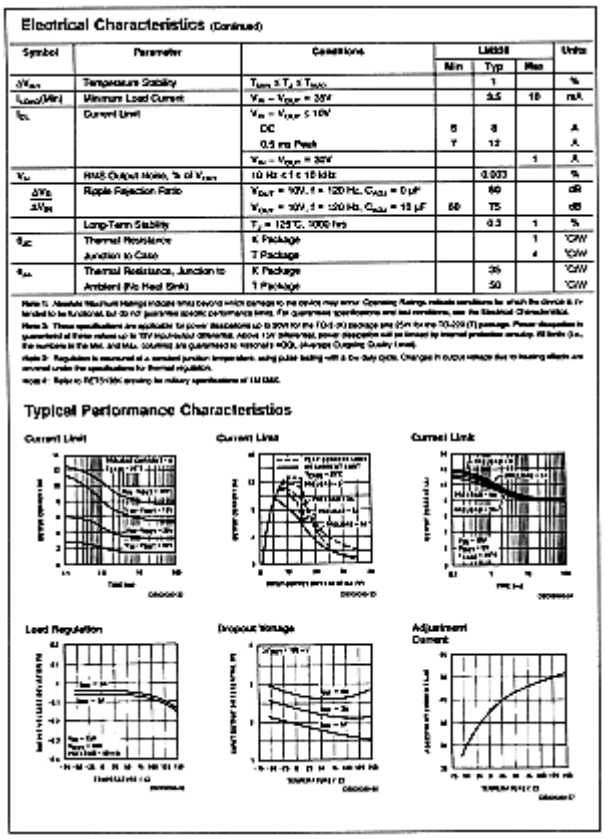
Data sheets

من الكاتلوجات أو مواقع الشركات على شبكة المعلومات الدولية.وذلك بالتعرف على الأشكال العملية لكل عنصر متضمناً الحجم و الوزن والشكل الهندسي (منظور و/أو مساقط للعنصر).

يُزوّدُ منتجو الجزءِ أوراقَ البيانات، شكل رقم (٢-١) لِكي تَكُونَ مستعملة من قبل مصممِ الدائرةَ لإخْتيارَ الأجزاءِ المناسبة لتصميم الدائرةِ. إذا كنا سَنصْبَحُ قادرون على تَصميم لوح الدائرة المطبوعة، فإن أوراق البيانات هذه يَجِبُ أَنْ تحتوي على الأبعادُ الطبيعيةُ أو الميكانيكية أيضاً للجزءِ المحتوى كما في الشكل رقم (٢-٢). عادة يُمْكِنُك الحصول على data sheets مِنْ مواقعِ ويب للمنتجين. إذا لم يكن هناك ورقة بيانات لأى من الانواع المدرجة بقائمة الاجزاء فإنه يجب على المصمم تدبير جزء عينة يُمْكِنُك قياسه وتَعريفه ووضعه بالقائمة. طريقةِ القياس هذه تعتبر أقلّ دقة بكثيرُ مِنْ إستعمال بيانات المنتجِ للجزء، خصوصاً إذا كان هناك تفاوت كبير على الجزءِ، لَكنَّها أفضل مِنْ التخمين عامةً.



شكل رقم (٢-٢) يوضح الابعاد الطبيعية أو الميكانيكية لعنصر إلكتروني



Electrical Characteristics (Continued)

Symbol	Parameter	Conditions	Limits			Units
			Min	Typ	Max	
ΔV_{OUT}	Temperature Stability	$T_{MIN} \le T_J \le T_{MAX}$		1		%
$I_{L(MIN)}$	Minimum Load Current	$V_{IN} - V_{OUT} = 35V$		3.5	10	mA
I_{CL}	Current Limit	$V_{IN} - V_{OUT} \le 10V$				
		DC	5	8		A
		0.5 ms Peak	7	12		A
		$V_{IN} - V_{OUT} = 35V$			1	A
V_N	RMS Output Noise, % of V_{OUT}	10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz		0.003		%
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection Ratio	V_{OUT} = 10V, f = 120 Hz, C_{ADJ} = 0 µF		60		dB
		V_{OUT} = 10V, f = 120 Hz, C_{ADJ} = 10 µF	66	75		dB
	Long-Term Stability	T_J = 125°C, 1000 hrs		0.3	1	%
θ_{JC}	Thermal Resistance Junction to Case	K Package			1	°C/W
		T Package			4	°C/W
θ_{JA}	Thermal Resistance, Junction to Ambient (No Heat Sink)	K Package		35		°C/W
		T Package		50		°C/W

Typical Performance Characteristics

Current Limit

Current Limit

Current Limit

Load Regulation

Dropout Voltage

Adjustment Current

شكل رقم (٢-١) يوضح ورقة بيانات لعنصر إلكتروني

٢-٢-٤ تحديد نوع مادة وعدد طبقات لوح الدائرة المطبوعة :

لا يعتبر لوح الدائرة المطبوعة وسيلة تجميع فقط للدائرة المراد تنفيذها. فهو سَيتطلّبُ توصيله دائماً إلى العالم الخارجي للحُصُول على القدرة المغذية له، وتبادلُ المعلومات، أَو عرض النَتائِجَ. وهو سَيحتاجُ لتثبيته في علبة أو رف منزلق لإدائه وظيفتهُ. قَدْ يَكُون هناك مناطقَ تَتطلّبُ قيودَ الإرتفاعِ على اللوح (مثل حامل بطاريةِ في العلبة أَو قضبانِ في رف يفترض انزلاق اللوح داخله). فتحات التشغيل Tooling والمساحات الغير مستعملة التي قَدْ تكون مطلوبة في اللوح لعمليات التجميع أَو التصنيع. كُلّ هذه العواملِ الخارجية مَنْ الضَّرُوري أَنْ تُعرّفَ قبل تصميم اللوح، شاملة الأبعادِ القصوى للوح ومواقعِ المقابس connectors، ولوحات البيان displays، وأدوات التثبيت الميكانيكية mounting brackets، أَو أيّ إمكانية خارجية أخرى.

وظيفة لوح الدائرة المطبوعة تتوقف على سُمكَ النحاسِ المثبت على اللوح المدعوم. فكمية التيارِ المحمول باللوح يُحدد بواسطة سُمكَ قشرة clad أو ورق النحاس الرقيق copper foil. وعادة يكون سُمك ورقِ النحاس قياسيُ.أيضاً يُمْكِنُك أَنْ تَختارَ بين أنواعَ اللوح المختلف المادّةِ وعددِ الطبقاتِ طبقا للتطبيق الذي تقوم بتنفيذه.

لوح راتنجي مدعوم بألياف الزجاجيةِ (FR4). وهو عبارة عن لوح دائرة مطبوعة صلبrigid PCB بسُمكِ ١.٦ مليمترَ (تقليدي) أَو ٠.٨ مليمتر. بينما تعتبر الالواح الفينولية Phenolic أرخص مادة من مواد الالواح المدعومة.

٢-٢-٥ تحديد العناصر ذات التثبيت المستقل:

داخل كابينة الجهاز وبعيداً عن لوح/ألواح الدائرة المطبوعة بالجهاز وبعيداً عن واجهة ومؤخرة الجهاز.

٢-٢-٦ تحديد عناصر الواجهة الأمامية:

تحديد عناصر التشغيل للدائرة والتي تثبت على واجهة الجهاز ولا تثبت على لوح الدائرة المطبوعة، حتى تكون في متناول مستخدم الجهاز.

٢-٢-٧ تخطيط لوح واجهة الجهاز:

لتشمل عناصر تشغيل الدائرة وتنفيذ ذلك وكتابة بيانات التشغيل (ON-OFF ، VOLUME ، COM. ، TUNE ، ..... الخ).

٢-٢-٨ تحديد عناصر مؤخرة الجهاز:

تحديد عناصر التثبيت على مؤخرة الجهاز ولا تثبت على لوح الدائرة المطبوعة مثل مقبس مدخل إشارة، ومقبس تغذية التيار المتغير لوحدة التغذية بالجهاز، المصهرات ..الخ.

٢-٢-٩ تخطيط لوح مؤخرة الجهاز:

لتشمل العناصر المثبتة في ظهر الجهاز وتنفيذ ذلك وكتابة بيانات التشغيل (AC 120/220 ، XXΩ ، LS ، FUSE ، .....الخ).

٢-٢-١٠ تحديد عناصر لوح الدائرة المطبوعة:

الباقي من عناصر الدائرة سيكون عبارة عن عناصر الدائرة ذات الحجم والوزن والشكل الصغير والمناسبة للتثبيت على لوح أو عدد من ألواح الدائرة المطبوعة.

٢-٢-١١ تصميم لوح الدائرة المطبوعة:

يتم الشروع في تصميم لوح (أو ألواح) الدائرة المطبوعة باستخدام أحد البرمجيات المتخصصة والشهيرة بإتباع الخطوات التالية:

- رسم الشكل التخطيطي للدائرة SCHEMATIC بعد رفع العناصر ذات التثبيت الخاص والمذكورة سابقاً وذلك باستخدام الرموز البيانية للعناصر المزود بها البرنامج وبالتحديد الجزء الذي يحتوي على العناصر الصغيرة أما العناصر المرفوعة آنفاً فيحدد لها عدد من الأطراف ويكتب عليها التسمية الاسنادية للعنصر (الذي قد يكون مثبت على مقدمة أو مؤخرة أو داخل الكابينة بطريقة مستقلة).
- عمل توجيه للدائرة التخطيطية فتظهر الأشكال العملية للعناصر من مكتبة البرنامج والتي تم اختيارها عند رسم الشكل التخطيطي وبنفس التسمية الاسنادية الممنوحة في ملف الدائرة التخطيطية.
- طبقاً لنوع البرنامج المستخدم يتم التوصيل بين العناصر باستخدام عرض مسار ونقاط لحام بأبعاد مناسبة حسب تعريف البرنامج لها.
- يتم طباعة الأشكال التالية من البرنامج :

١. شكل جانب العناصر Component Side
٢. شكل جانب اللحام (حسب عدد الطبقات) Solder Side
٣. شكل قناع نقاط اللحام Solder Mask

وبالتالي نكون قد حصلنا على الطبعات التي ستستخدم في صناعة لوح الدائرة المطبوعة.

٢-٢-١٢ تنفيذ لوح (ألواح) الدائرة المطبوعة

كما تم ذكره في كتاب "صناعة ألواح الدوائر المطبوعة : مرحلة ما قبل التجميع" لنفس المؤلف بإتباع أحد التكنولوجيات المذكورة.

٢-٢-١٣ تنفيذ كابينة الجهاز

مع تحديد أبعادها بالأخذ في الاعتبار مقاسات الوحدات وتعريفها وأماكن توزيعها داخل الكابينة.

٢-٢-١٤ رسم كافة الأشكال الهندسية المستخدمة:

في التنفيذ مثل : تخطيط إفراد كابينة الجهاز – رسم شكل منظوري – رسم المساقط الموضحة للأبعاد.

٢-٢-١٥ توصيل ضفيرة الجهاز wiring harnesses

بعد تثبيت كافة العناصر الالكترونية والكهروميكانيكية تثبيتاً ميكانيكياً في كابينة الجهاز يتم تخطيط شكل لضفيرة الجهاز (مجموعة اسلاك التوصيل بين وحدات الجهاز) للربط الكهربائي بين وحداته، أى رسم الدائرة التنفيذية Connection diagram.

٢-٢-١٦ كتابة قائمة بتعريف الأسلاك المستخدمة في الضفيرة

في تنفيذ الضفيرة متضمناً المعلومات التالية:

- التسمية الاسنادية للوحدات
- تعريف التوصيلات البينية من وإلى الوحدات
- المقياس الأمريكي للسلك AWG
- طول السلك
- لون السلك

٢-٢-١٧ اختبار تشغيل الجهاز

أو إجراء ذلك مرحلياً لكل لوح دائرة مطبوعة

و على ذلك يتضمن ملف تنفيذ أي دائرة ما يلي:

١. اسم ورسم الدائرة التخطيطية schematic diagram و نظرية التشغيل.
٢. رسم الشكل التخطيطي العملي layout لدائرة الجهاز. (باستخدام أحد البرامج المتخصصة لتصميم PCB)

٣. قائمة بالعناصر المطلوبة (الفاتورة).
٤. صفحات بيانات كل عنصر.
٥. جدول بالعناصر ذات التثبيت المستقل داخل كابينة الجهاز.
٦. جدول بعناصر الواجهة الأمامية للجهاز.
٧. تخطيط الواجهة الأمامية. (باستخدام برنامج AutoCAD)
٨. جدول بعناصر مؤخرة الجهاز.
٩. تخطيط مؤخرة الجهاز. (باستخدام برنامج AutoCAD)
١٠. تحديد نوع وعدد طبقات لوح الدائرة المطبوعة
١١. جدول بالعناصر المثبتة على لوح الدائرة المطبوعة.
١٢. شكل جانب العناصر (القمة) للوح الدائرة المطبوعة. (باستخدام أحد البرامج المتخصصة لتصميم PCB)
١٣. شكل جانب اللحام (القاع) للوح الدائرة المطبوعة. (باستخدام أحد البرامج المتخصصة لتصميم PCB)
١٤. شكل قناع نقاط اللحام (باستخدام أحد البرامج المتخصصة لتصميم PCB)
١٥. شكل أو أشكال إفراد كابينة الجهاز وذكر كافة البيانات عليها (باستخدام برنامج AutoCAD)
١٦. شكل قمة الكابينة بدون الغطاء وجدول تعريف وتوزيع الوحدات بها. (باستخدام برنامج AutoCAD)
١٧. شكل توصيلات الضفيرة داخل الكابينة (باستخدام أحد البرامج المتخصصة فيPCB)
١٨. قائمة بتعريف الأسلاك المستخدمة ومسارات توصيلها
١٩. شكل منظوري أساساً للكابينة واختياري لأي جزء آخر (باستخدام برنامج AutoCAD)
٢٠. رسم مساقط الكابينة. (باستخدام برنامج AutoCAD)
٢١. اختبار تشغيل الجهاز. (باستخدام أحد البرامج المتخصصة في تصميم واختبار الدوائر)

وسوف نجسد هذه الخطوات في تنفيذ أحد التمارين العملية البسيطة كما يلي.

٢-٣ ملف تصنيع وحدة تغذية ٥ فولت مستمر منتظم
REGULATED 5-VOLT POWER SUPPLY MANUFACTURING FILE

سوف يقوم الطالب في هذا التمرين بتنفيذ جهاز تغذية قدرة مستمرة **DC Power Supply**

وقبل أن يشرع الطالب في التنفيذ يجب التعرف علي بعض المعلومات التي تؤهله للتعامل مع عناصر الدائرة والدراية الكاملة بالتوصيلات بينها. وسوف نتجه إلى اتباع قواعد التصميم المعمول بها وبأيدي الطالب نفسه حرصاً علي مصلحته حتى يؤهل باكتسابه المهارات الفنية إلى أن يكون ناجحاً في حياته العملية.

وبادئ ذي بدء يجب التعرف على نظرية تشغيل هذه الدائرة وكلما اتسعت رقعة المعلومات لدي الطالب جنبه ذلك الوقوع في أخطاء ومكنه من الدراية الواسعة الأفق بالموضوع القائم بتصميمه.

٢-٣-١ نظرية التشغيل لدوائر تغذية القدرة الكهربية:

أنواع دوائر تغذية القدرة

دوائر تغذية القدرة المستمرة DC Power Supply Circuits من أشهر الدوائر علي الإطلاق في عالم الإلكترونيات. فجميع الأجهزة الإلكترونية تعمل علي جهد مستمر صغير بينما شبكات التغذية المتغيرة AC الرخيصة الثمن والتي تمد جميع المباني هي عبارة عن جهود مترددة. فكان من الطبيعي أن يحتوي كل جهاز إلكتروني علي دائرة تغذية قدرة مستمرة وإذا لم يكن يحتوي علي ذلك فلابد من توفيرها له (بطاريات). وعلي ذلك لابد من محاولة فهم وتنفيذ دائرة تغذية قدرة مستمرة في مقتبل الحياة العملية. ويجب أن نعرف أن كل دائرة تغذية قدرة مستمرة تختلف عن الأخرى من حيث القدرة المسحوبة منها أو مقدار دقتها وتنعيم خرجها.

و هناك عديد من خواص دوائر تغذية القدرة المستمرة المختلفة نذكر منها :

١-دائرة تغذية قدرة مستمرة تعمل بنظام توحيد نصف موجة

٢-دائرة تغذية قدرة مستمرة تعمل بنظام توحيد موجة كاملة

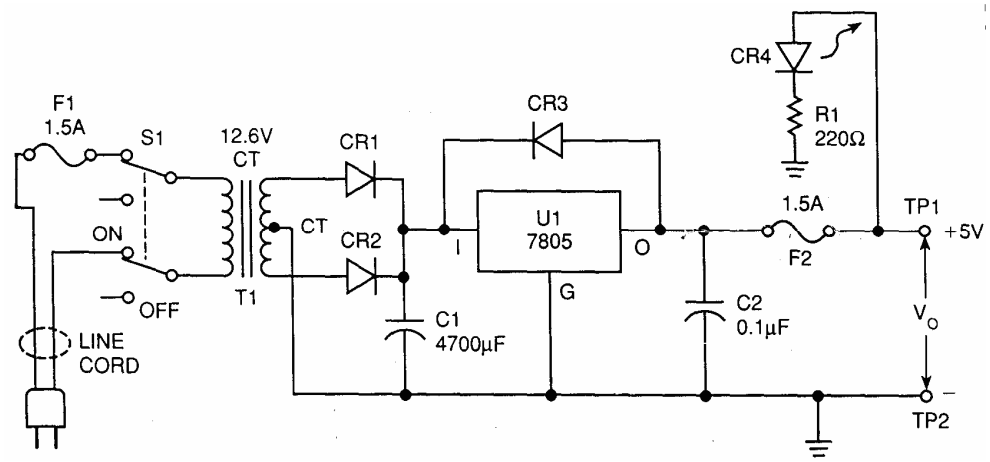
٣-دائرة تغذية ثنائية الأقطاب

٤-دائرة تغذية أحادية الأقطاب

٥-دائرة تغذية منتظمة الخرج

٦-دائرة تغذية غير منتظمة الخرج

٢-٣-٢ الشكل التخطيطي (النظري) لدائرة التمرين:



شكل (٢-٣) يوضح الدائرة التخطيطية لوحدة تغذية قدرة ٥ فولت منتظمة

٢-٣-٣ قائمة بالعناصر المطلوبة BOM:

جدول رقم (٢-١) يوضح عناصر دائرة تغذية القدرة المستمرة

م	اسم الصنف بالعربي	اسم الصنف بالإنجليزي	الكمية	التسمية الاسنادية علي الشكل	السعر
١	محول كهربائي ٢٢٠-١٢.٦فولت	12.6V transformer	١	T1	
٢	ثنائي ، 1N5400	Diode , 1N5400	٣	CR1-CR3	
٣	دائرة متكاملة رقم 7805	IC,7805 Voltage regulator	١	U1	
٤	مبين ثنائي مشع ضوء	LED indicator	١	CR4	

٥	مكثف كيميائي ، ٤٧٠٠ ميكرو فاراد ، ٣٥ فولت	Capacitor, 4700 uF, 35V electrolytic	١	C1	
٦	مكثف سيراميك، ٠.١ ميكرو فاراد ، ٥٠ فولت	Capacitor, 0.1 uF, 50V ceramic	١	C2	
٧	مقاومة ، ٢٢٠ أوم ، ٠.٢٥ وات	Resistor , 220 Ω , ¼W	١	R1	
٨	مسرب حراري	Heat sink	١	–	
٩	مسمار و صامولة لتثبيت المسرب	Heat sink mounting hardware	١	–	
١٠	مفتاح ثنائي القطب ثنائي الطريق	DPDT switch	١	S1	
١١	لوح دائرة مطبوعة ($2\frac{3}{4}\times3\frac{3}{4}$)	Circuit board $2\frac{3}{4}\times3\frac{3}{4}$	١	–	
١٢	صندوق أو كابينة الوحدة	Box $2\frac{3}{8}\times4\frac{3}{8}\times7\frac{3}{4}$	١	–	
١٣	ماسك مصهر	Fuse holder	٢	–	
١٤	مصهر يتحمل حتى ١.٥ أمبير	1.5A fuse	٢	F1, F2	
١٥	وصلة سلك كهربائية	Line cord	١	–	
١٦	مقابس توصيل	Connectors	٢	TP1, TP2	
١٧	مجموعة أقدام مطاطية	Rubber feet (set)	١	–	
١٨	أعمدة بلاستيكية أو من مادة PVC	Standoffs	٤	–	
١٩	أنابيب الانكماش الحرارية	Heat shrinkable tubing			
٢٠	مسامير قلاووظ ٦-٣٢، طول ¾	Screws 6-32, ¾ long			
٢١	صواميل ٦-٣٢	Nuts 6-32			
٢٢	مسامير قلاووظ ٤-٤٠، طول ¼	Screws 4-40, ¼ long			
٢٣	صواميل ٤-٤٠	Nuts 4-40			
٢٤	لوحات طباعة حروف و أرقام	Letter print sheet			

٢-٣-٤ البيانات الفنية لكل عنصر

توافر صفحات البيانات لكل عنصر : Data sheets

اختيار المنظم:

متطلبات وحدة التغذية المنتظمة ذات الخرج +٥ فولت يجب أن تكون قريبة من معدلات الجهد الثابت لمنظم الدائرة المتكاملة 7805 حيث له ٥ فولت جهد خرج وأقصي تيار حمل مقداره ١.٥ أمبير.

و حيث أن الدائرة المتكاملة 7805 سوف تعطي تغذية قدرة بمعدل تيار مقداره ١ أمبير حيث أقصي تيار ممكن ١.٥ أمبير، وحيث أن أدني جهد له هو ٣ فولت، فإنها سوف تبدد قدرة أقل من ٤.٥ وات عند أقصي حمل. و لذا يجب احتوائها و تثبيتها في مسرب حراري heat sink وعمل ثقوب تهوية في كابينة أو علبة وحدة التغذية لمنع التزايد الحراري.

اختيار المحول و الموحد:

يتطلب المنظم ذو الرقم 7805 أدني جهد تفارقي بين الدخل و الخرج مقداره ٣ فولت. لذا، للحصول علي خرج مقداره ٥ فولت، فإن الدخل للمنظم لابد و أن يكون علي الأقل ٨ فولت. ولذا كان الملف الثانوي ذو التفريع الوسطي Center Tap (CT) تم تصميمه علي جهد مقداره ١٢.٦ فولت عند ٣ أمبير. و باستخدام دائرة توحيد موجة كاملة تتكون من موحدين يمكن الحصول علي ٨.٩ فولت من القمة للقمة (٦.٣ × ١.٤١٤) عند تيار مقداره ٣ أمبير.

و حيث أن ثنائيات التوحيد تحتاج إلى PIV مقداره ١٧.٨ فولت، و ثنائي الحماية عبر المنظم تم وضعه علي معدل تيار مقداره ٣ أمبير و PIV مقدارها ٥٠ فولت. وباختيارنا محول ذو تفريع وسطي يعطي ١٨ فولت، فإن التغذية تستطيع أن تعمل عند ١.٥ أمبير باستمرار لأن جهد القمة تم رفعه. علي أي حال، تسريب حرارة المنظم 7805 يجب أن تكون أكثر كثافة لحماية المنظم من زيادة فقد القدرة وحدود حرارة العلبة.

المرشحات

الترشيح وجهد التموج الناتج هما كما تم وصفهما للمنظم 7805. المكثف الصغير (٠.١ ميكرو فاراد) تم وضعه عبر الخرج للمنظم لإمرار ضوضاء التردد العالي والذي ربما يكون متولدا بواسطة الحمل.

وسائل الحماية الموجودة بدائرة التمرين

هناك عدد من وسائل الحماية استخدمت في هذا التصميم :

١-**مفتاح القدرة، S1**، هو عبارة عن مفتاح ذو قطبين و طريقين DOUBLE-POLE DOUBLE-THROW (DPDT) يتم ربطه علي وصلة سلكية مؤدية إلى التغذية العمومية. وهذا يعزل جهد الخط داخل جسم المفتاح عند غلق المفتاح OFF.

٢-**مصهر الدخل** وهو موصول علي التوالي مع أحد طرفيات الملف الابتدائي للمحول للحماية من حدوث قفله للمحول.

٣-**لمبة LED** تم توصيلها عبر أطراف الخرج كدليل ضوئي وكمساعدة في إيجاد وقت تفريغ مكثفات المرشح.

٤-**مصهر علي التوالي** مع الخرج يساعد في منع حدوث قفله في التجربة. وتم احتوائه لبحث استخدامه في التصميم. وهو حقيقة غير ضروري بسبب أن المنظم رقم 7805 له تيار محدود. فإذا لم يكن المنظم المستخدم يحتوي علي وسيلة حماية ضد القفلة، فإن المصهر يكون ضروري بطريقة مطلقة لتغذية تجربة مثل هذه.

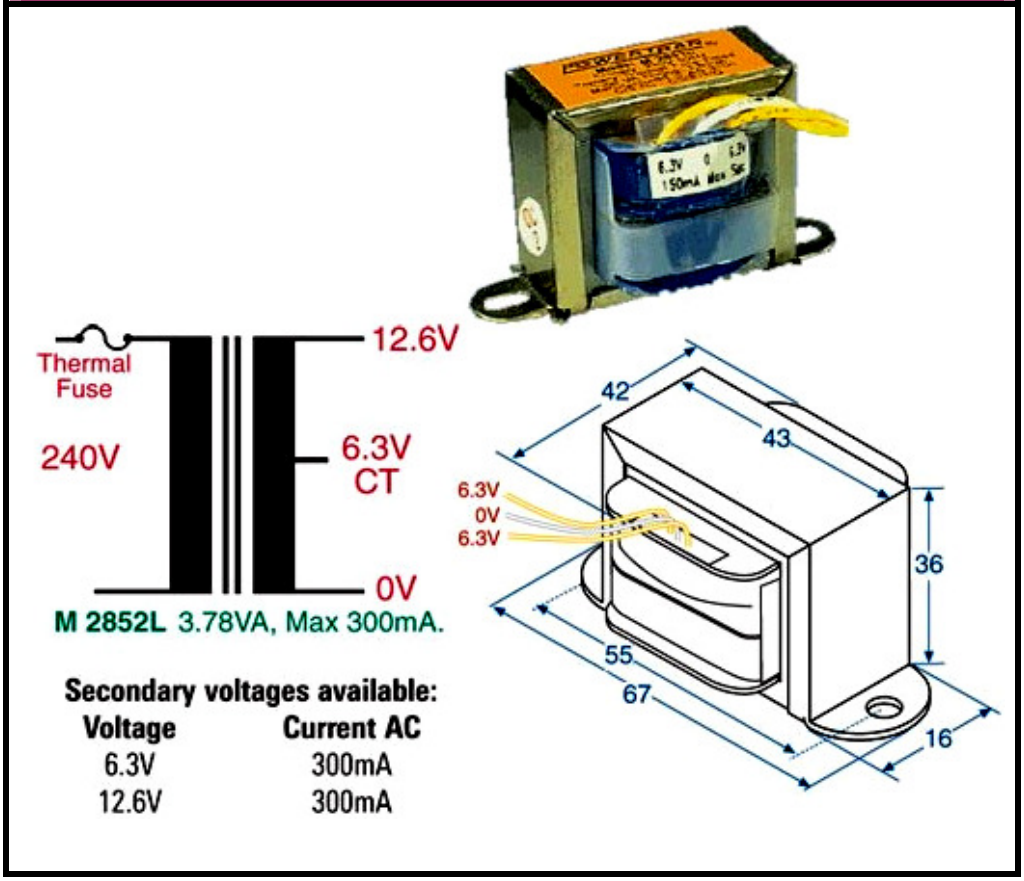
٥-وبسبب أن هذه الوحدة يمكن استخدامها لتغذية أحمال متغيرة، فإنه قد تم توصيل **موحد** من الدخل إلى الخرج لكي يكون ذو انحياز عكسي تحت التشغيل العادي. و هذا يحسن الحماية إذا كانت الكمية الكبيرة من السعة تم توصيلها إلى الخرج. عندما يتم فصل جهد الدخل، فإن سعة

مكثف كبيرة علي الخرج ربما تفرغ أكثر بطأ عن السعة عند الدخل. وهذا يمكنه عكس انحياز المنظم وبالتالي تدميره. والموحد يؤمن المسار لتيار التفريغ.

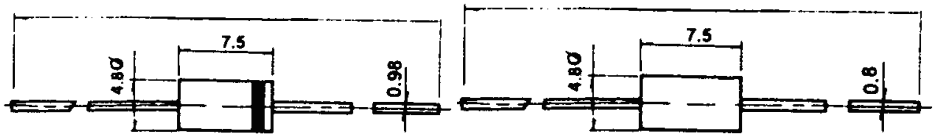
أبعاد المسقط المستخدم لكل عنصر في أشكال التنفيذ:

الغرض من تحديد أبعاد العناصر هو معرفة الحجم الذي سيؤول إليه الجهاز وكذا تحديد أبعاد العناصر وأوزانها وأشكالها العملية لتحديد أي منهم سيثبت مستقلاً و أي منهم سيثبت على الواجهة أو المؤخرة للجهاز. ويمكن الحصول على هذا من خلال صفحات بيانات العناصر أو كتالوجات بيع العناصر الالكترونية. والأشكال التالية مأخوذة من كتالوجات بعض الشركات.

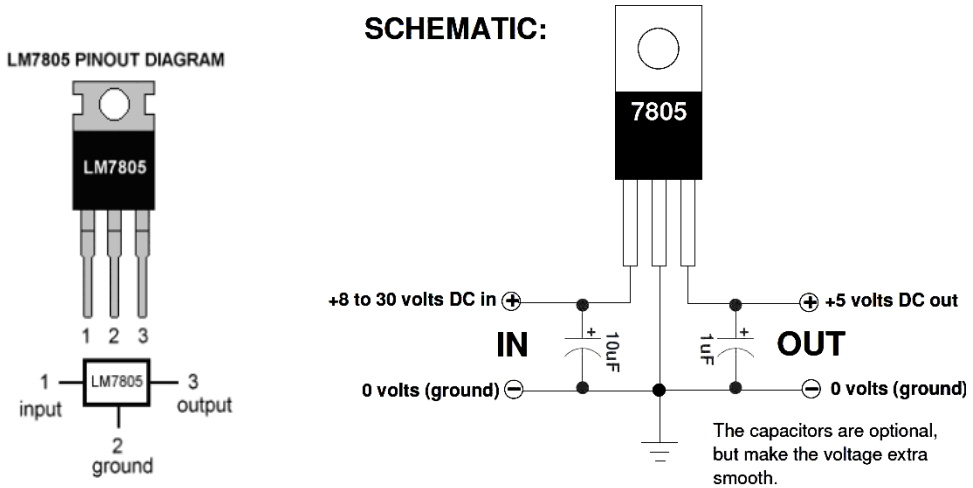
(١) شكل وابعاد محول القدرة الكهربائية



(٢) شكل وأبعاد الثنائي



(٣) شكل يوضح ويعرف أطراف الدائرة المتكاملة رقم 7805 وكذا ملف البيانات الخاص بها



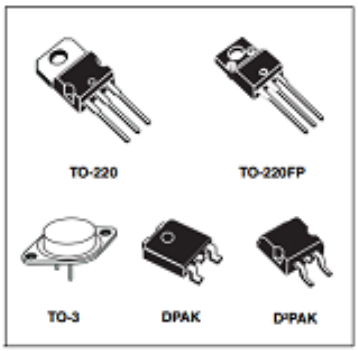
L78xx, L78xxC
L78xxAB, L78xxAC

Positive voltage regulator ICs

Datasheet – production data

Features

- Output current up to 1.5 A
- Output voltages of 5; 6; 8; 8.5; 9; 12; 15; 18; 24 V
- Thermal overload protection
- Short circuit protection
- Output transition SOA protection
- 2 % output voltage tolerance (A version)
- Guaranteed in extended temperature range (A version)



Description

The L78xx series of three-terminal positive regulators is available in TO-220, TO-220FP, TO-3, D²PAK and DPAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications.

These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1 A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltage and currents.

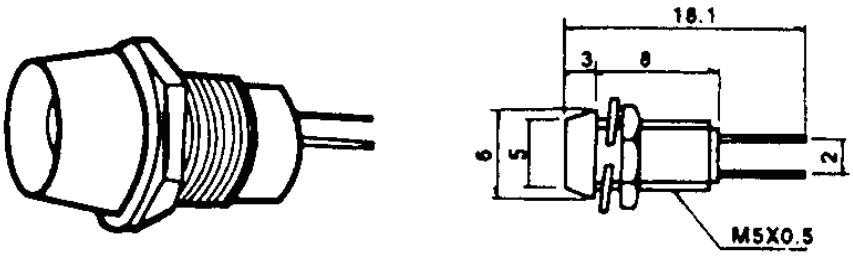
ملف البيانات عن العنصر يتكون من ٥٧ صفحة وهو يشمل كل أنواع التغليف المنتج بها هذا العنصر

Table 1. Device summary

Part numbers			
L7805	L7806AC	L7809AB	L7815AB
L7805C	L7806C	L7809AC	L7815AC
L7805AB	L7808AB	L7812C	L7818C
L7805AC	L7808AC	L7812AB	L7824C
L7806C	L7885C	L7812AC	L7824AB
L7806AB	L7809C	L7815C	L7824AC

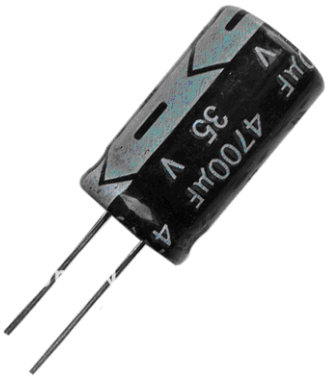
This is information on a product in full production. www.st.com

(٤) شكل وأبعاد مبين ثنائي مشع ضوء





(٥) شكل وأبعاد ومواصفات المكثف الكيميائي



Item specifics

Operating Temperature:	105
Capacitance:	4700UF
Color:	Black

Brand Name:	Blue
Rated Voltage:	35V
Package Type:	Through Hole
Structure:	
Fixed Capacitor Application:	General Purpose
Type:	Aluminum Electrolytic Capacitor
Model Number:	35V 4700UF

Product Description

35V 4700UF Electrolytic Capacitor 18x32mm

Description:

Brand new 35V 4700UF Electrolytic Capacitor 18x32mm.

Capacitance:	4700UF
Voltage:	35V
Size:	18x32mm
Package included:	1 x 35V 4700UF Electrolytic Capacitor 18x32mm

(٦) شكل وأبعاد ومواصفات المكثف السيراميك، ٠,١ ميكرو فاراد



Product Information

Capacitance:	0.1µF
Capacitance Tolerance:	± 10%
Capacitor Case Style:	Disc
Capacitor Terminals:	Radial Leaded, Axial Leaded, or SMD

Dielectric Characteristic:	Y5P
Lead Spacing:	2.54mm
Operating Temperature Max:	85°C
Operating Temperature Min:	-30°C
Packaging:	Each
Product Range:	MULTICOMP - CC Series
Voltage Rating:	50V

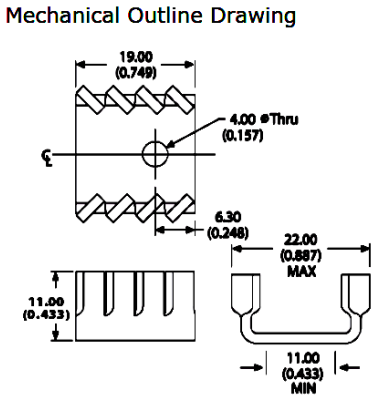
(٧) شكل وأبعاد ومواصفات المقاومة الكربونية



Product Information

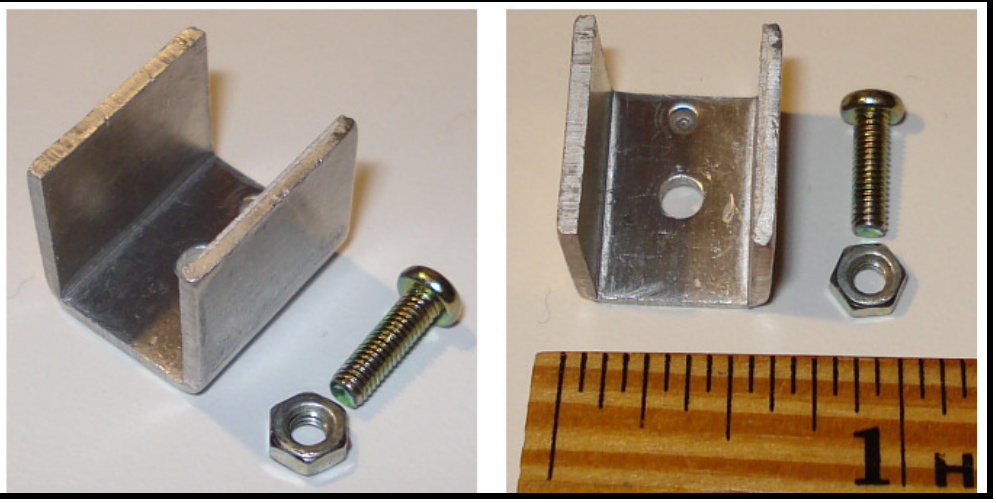
Resistor , 220 Ω ,
Power Consumed ¼W
Material, Carbon
Lead Type, Axial Leaded

(٨) شكل وأبعاد المسرب الحراري

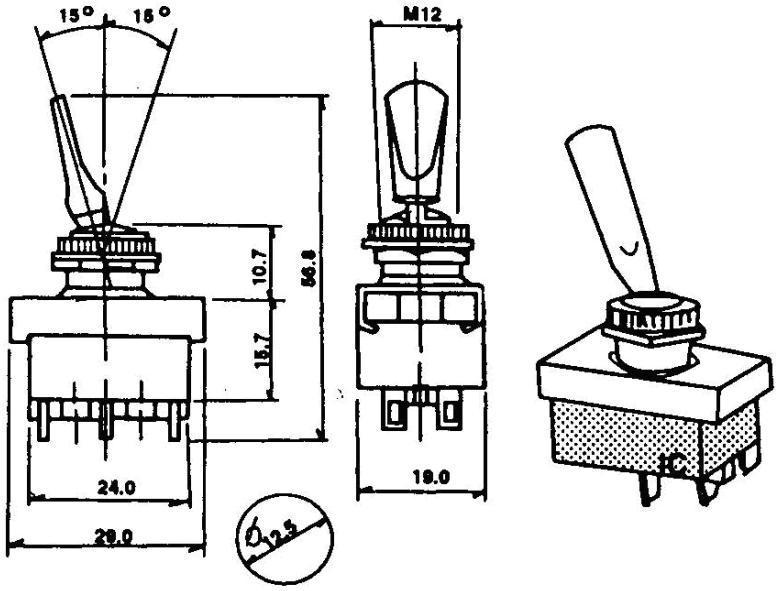


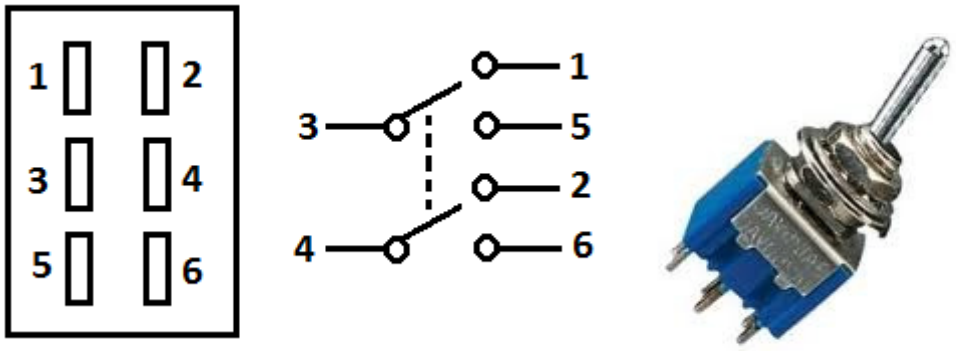


(٩) شكل مسمار و صامولة لتثبيت المسرب الحراري

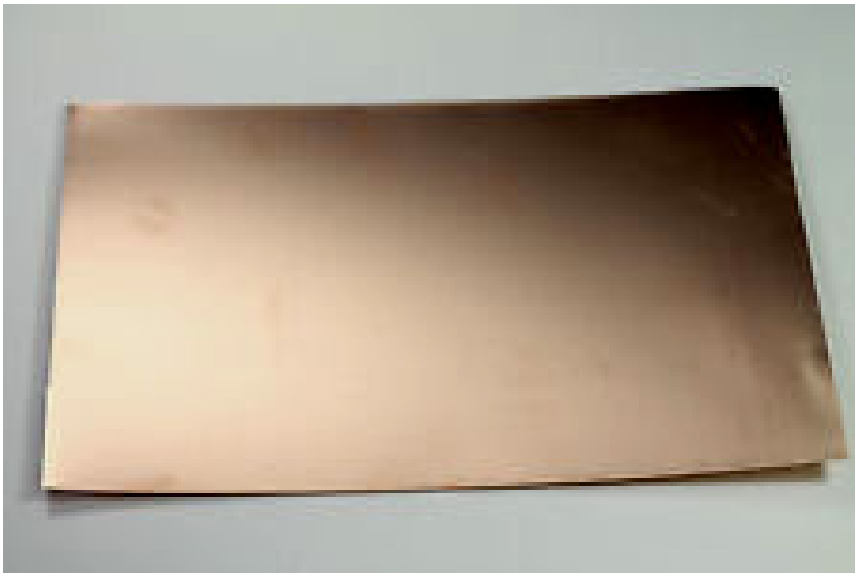


(١٠) شكل وأبعاد مفتاح ثنائي القطب ثنائي الطريق

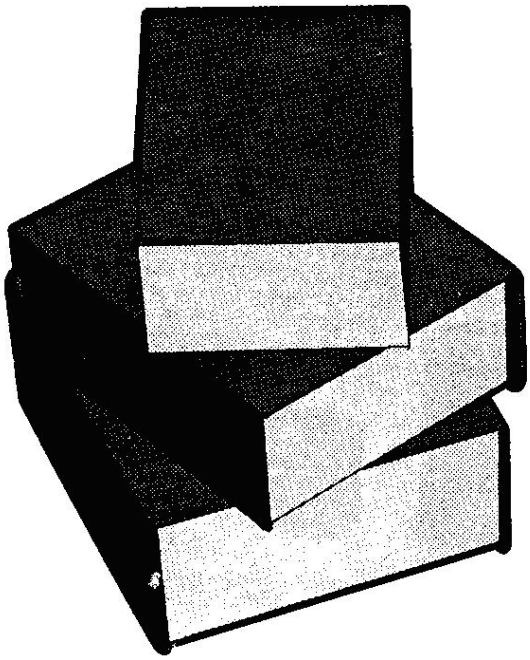




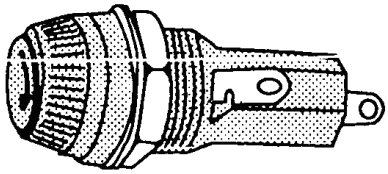
(١١) شكل وأبعاد لوح الدائرة المطبوعة ($2\frac{3}{4}\times3\frac{3}{4}$)

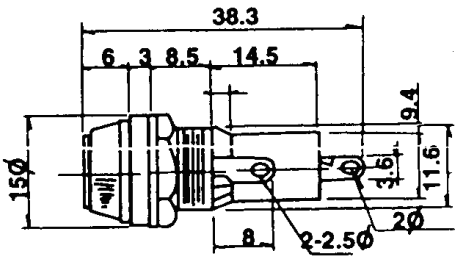


(١٢) شكل صندوق أو كابينة الوحدة



(١٣) شكل وأبعاد ماسك المصهر

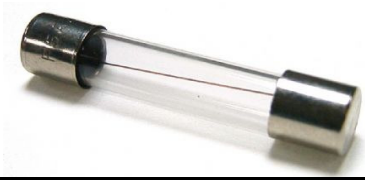




(١٤) شكل وأبعاد وكيفية وضع المصهر في الماسك المخصص له



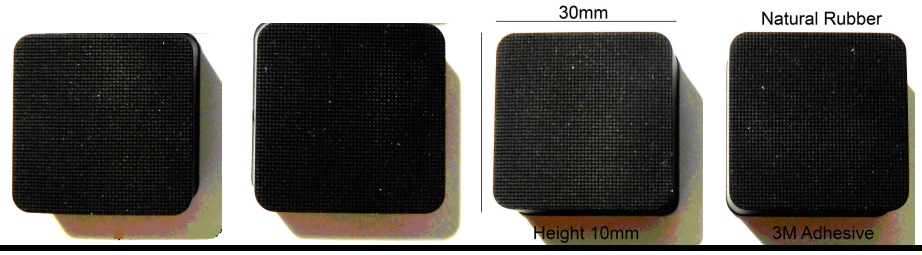




(١٥) شكل وصلة كهرباء التغذية AC



(١٧) شكل وأبعاد مجموعة أقدام مطاطية



(١٨) شكل الأعمدة البلاستيكية أو PVC المستخدمة في فصل اللوح عن قاع العلبة



(١٩) شكل أنابيب الانكماش الحرارية





(٢٠) شكل مسامير قلاووظ٦-٣٢، طول ¾



(٢١) شكل صواميل ٦-٣٢



(٢٢) شكل مسامير القلاووظ٤-٤٠، طول ¼



(٢٣) شكل الصواميل ٤-٤٠



(٢٤) شكل لوحة طباعة حروف



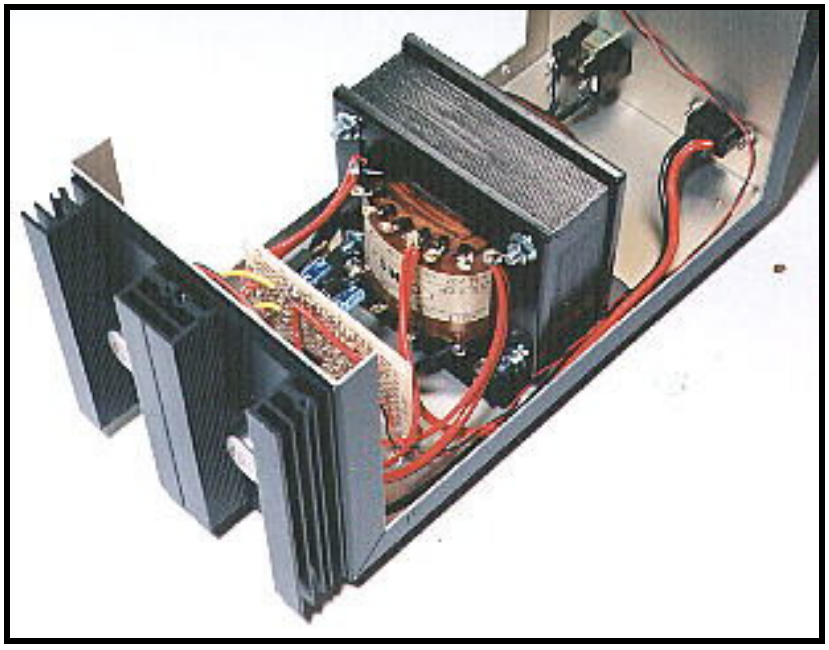
شكل (٢-٤) يوضح الأشكال العملية لعناصر دائرة التمرين كنماذج إرشادية تساعد الطالب عند الشراء و عند التنفيذ

قبل القيام بأي خطوة تنفيذ يجب أولا التصميم على لوحات الرسم الورقية باستخدام البرمجيات المتخصصة وعمل جداول التكلفة حتى نكون على رؤية كاملة بخطوات سير عملية التجميع لهذه الوحدة.

٢-٣-٥ جدول بالعناصر ذات التثبيت المستقل داخل كابينة الجهاز:

يجب تحديد العناصر التي لها أوزان وأحجام كبيرة أو لها ظروف تثبيت معينة. بإعادة النظر إلى الشكل التخطيطي لهذه الدائرة والأبعاد الميكانيكية والأوزان للعناصر التي تم شرائها لتنفيذ هذه الدائرة نجد أن المحول هو أكبر العناصر حجما ووزنا في دوائر تغذية القدرة عموماً وبالتالي سوف يخصص له تثبيت ميكانيكي مستقل في علبة الوحدة كما بالشكل النموذجي رقم (٢-٥) ولا يمكن تثبيته على لوح الدائرة المطبوعة حتى لا يسبب اجهاد ميكانيكي وحراري.





شكل رقم (٢-٥) يوضح كيفية تثبيت محول القدرة مستقلاً في كابينة الجهاز

٢-٣-٦ جدول بعناصر الواجهة الأمامية:

كما يجب تحديد العناصر إلي تثبت على واجهة الجهاز نظرا لاستخدامها الدائم في تشغيل الجهاز و بمراجعة جميع عناصر الدائرة سوف نجد الآتي:

١-مفتاح توصيل ON و فصل OFF وحدة تغذية القدرة.

٢-لمبة البيان LED الدالة على اشتغال وحدة تغذية القدرة

٣-أطراف (مقابس) أخذ القدرة من وحدة تغذية القدرة

هم عبارة عن الأجزاء الكهربية التي تعمل على تشغيل الجهاز.

و من ثم تكون العناصر المثبتة على واجهة الجهاز :

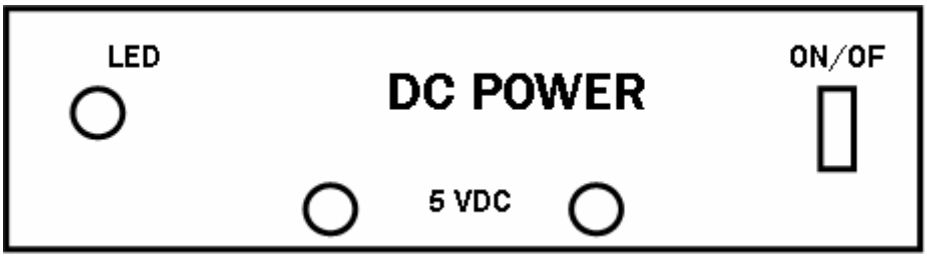
جدول رقم (٢-٢)

م	نوع العنصر	التسمية الاسنادية للعنصر	ملاحظات
١	ثنائي مشع للضوء	CR4	-
٢	مقبس خرج الجهاز من التغذية المستمرة +٥ فولت	TP1	-
٣	مقبس خرج الجهاز من التغذية المستمرة (-)	TP2	-
٤	مفتاح تشغيل الجهاز	S1	-

٢-٣-٧ تخطيط الواجهة الأمامية للجهاز:

باستخدام أدوات القياس والتخطيط، يتم تخطيط واجهة الجهاز لتثبيت عناصر تشغيل الدائرة عليها. مع مراعاة أن يكون مفتاح الوصل والفصل ON/DFF أو مفتاح التنغيم TUNNING أو مفتاح ضبط الصوت VOLUME في الجانب المقابل لليد اليمنى لمستخدم الجهاز نظراً لدقة حركة اليد

اليمنى. ويمكن وضع لمبة البيان في الجانب المقابل لليد اليسرى ثم مخارج الجهاز في وسط واجهة الجهاز وعلى الحافة السفلى. الشكل (٢-٦) يوضح تخطيط مناسب لواجهة وحدة تغذية القدرة المزمع تنفيذها. يمكن للطالب اقتراح تخطيط آخر يراه مناسباً.



شكل (٢-٦) يوضح تخطيط واجهة الجهاز للعناصر المدرجة بالجدول (٢-٢) السابق

٢-٣-٨ جدول بعناصر مؤخرة الجهاز:

كما تم في واجهة الجهاز يتم أيضاً تحديد العناصر التي ستثبت على مؤخرة الجهاز لتوصيله لمنابع الكهرباء العامة و تثبيت عناصر الحماية له و بمراجعة جميع عناصر الدائرة سوف نجد الآتي:

١-مصهران يمكن وضعهما على واجهة الجهاز أو مؤخرته حتى يمكن صيانتهما.

٢-مدخل الوصلة السلكية التي تربط الوحدة بمنابع الكهرباء العامة AC .

العناصر المثبتة على مؤخرة الجهاز :

جدول رقم (٢-٣)

م	نوع العنصر	رمز العنصر على الدائرة	ملاحظات
١	مصهر	F1	-
٢	مصهر	F2	-
٣	وصلة الكهرباء المترددة	AC	

٢-٣-٩ تخطيط مؤخرة الجهاز:

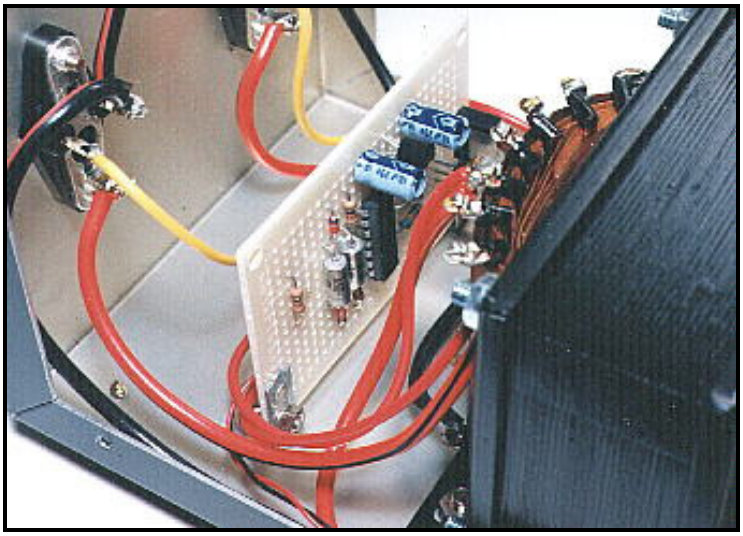
الشكل (٢-٧) يوضح تخطيط مؤخرة الجهاز للعناصر المدرجة بالجدول (٢-٣) السابق كما يلي:



شكل (٢-٧) يوضح تخطيط مؤخرة الجهاز للعناصر المدرجة بالجدول السابق

٢-٣-١٠ جدول بالعناصر المثبتة على لوح الدائرة المطبوعة:

قم بطرح العناصر التي تم تحديدها في الخطوات السابقة من العناصر الإجمالية بكشف عناصر دائرة وحدة تغذية القدرة، فيكون الناتج هو العناصر المتبقية صغيرة الوزن والحجم والتي يمكن تثبيتها على لوح الدائرة المطبوعة بوحدة تغذية القدرة كما واضح أمامك من الشكل رقم (٢-٨) .



شكل رقم (٢-٨) يوضح كيفية تجميع العناصر الصغيرة والخفيفة الوزن على لوح دائرة مطبوعة

يمكنك توزيع العناصر الصغيرة الوزن و الحجم على لوح أو لوحين أو أكثر من الدوائر المطبوعة إذا كانت كثافتها كبيرة أو استخدام لوح دائرة مطبوعة بأكثر من طبقة نحاسية واحدة.

يتم تعريف الدائرة المطبوعة بتعريف الوحدة مثلها مثل العناصر الأخرى التي لها تثبيت خاص ومنفرد على واجهة الجهاز أو مؤخرته أو داخله. المفتاح S1 يعتبر وحدة لها أطراف – و لمبة البيان LED تعتبر هي الأخرى وحدة بما أن لها تثبيت ميكانيكي مستقل و هكذا لباقي العناصر الأخرى و المثبتة على واجهة و مؤخرة الجهاز.

العناصر المجمعة على لوح الدائرة المطبوعة :

قم بتدوين العناصر المثبتة على لوح الدائرة المطبوعة بالكشف التالي :

جدول رقم (٢-٤)

م	نوع العنصر	رمز العنصر على الدائرة	ملاحظات
١	ثنائي توحيد	CR1	لاحظ اتجاهية التوصيل
٢	ثنائي توحيد	CR2	لاحظ اتجاهية التوصيل
٣	ثنائي توحيد	CR3	لاحظ اتجاهية التوصيل
٤	مقاومة كربونية	R1	-
٥	مكثف كيميائي	C1	لاحظ القطبية في التوصيل
٦	مكثف سيراميك	C2	–
٧	منظم (دائرة متكاملة)	U1(7805)	القراءة للأطراف تأتي من الأمام

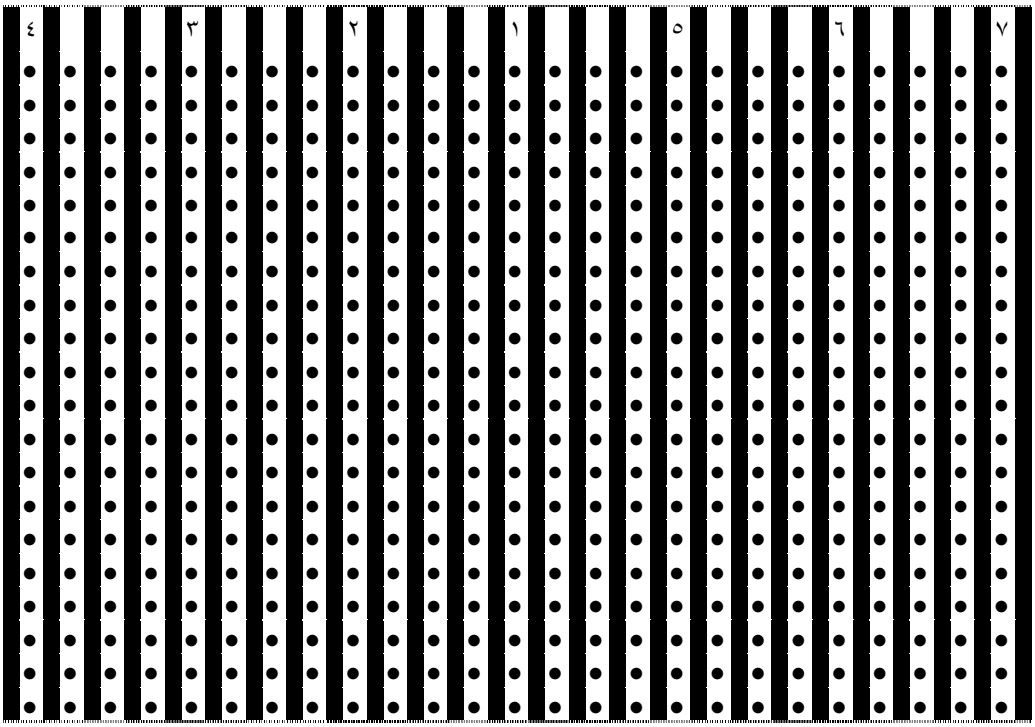
٢-٣-١١ شكل جانب العناصر (القمة) للوح الدائرة المطبوعة:

بعد تحديد العناصر المثبتة على لوح الدائرة المطبوعة والموضحة بالكشف السابق وتوافر لوح الدائرة المطبوعة المناسب تكون الخطوة التالية هي تصميم التخطيط العملي للوح الدائرة المطبوعة.

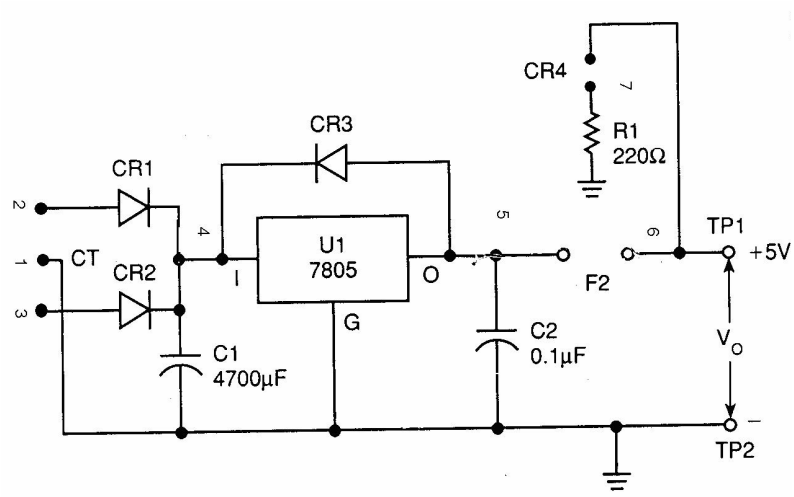
فإذا كنا نريد تصميم دائرة مطبوعة إنتاجية فإننا يجب استخدام أحد البرمجيات العاملة في تصميم الدوائر المطبوعة مثل:

EaseyPCB و ORCAD و PCB123 و ExpressPCB و Eagle و ..... الخ.

أما إذا كان عدد العناصر المثبتة على الدائرة المطبوعة صغيرا، ففي هذه الحالة يمكن استخدام الدوائر المطبوعة ذات الشرائح strip PCB، والتي تم التنويه عنها الملحق رقم (١) في جزئية تنفيذ ألواح الدوائر المطبوعة.



شكل (٢-٩) يوضح الدائرة المطبوعة ذات الشرائح



شكل (٢-١٠) يوضح كيفية ترقيم نقاط التفريع



شكل (٢-١١)

٢-٣-١٢ شكل جانب اللحام (القاع) للوح الدائرة المطبوعة:

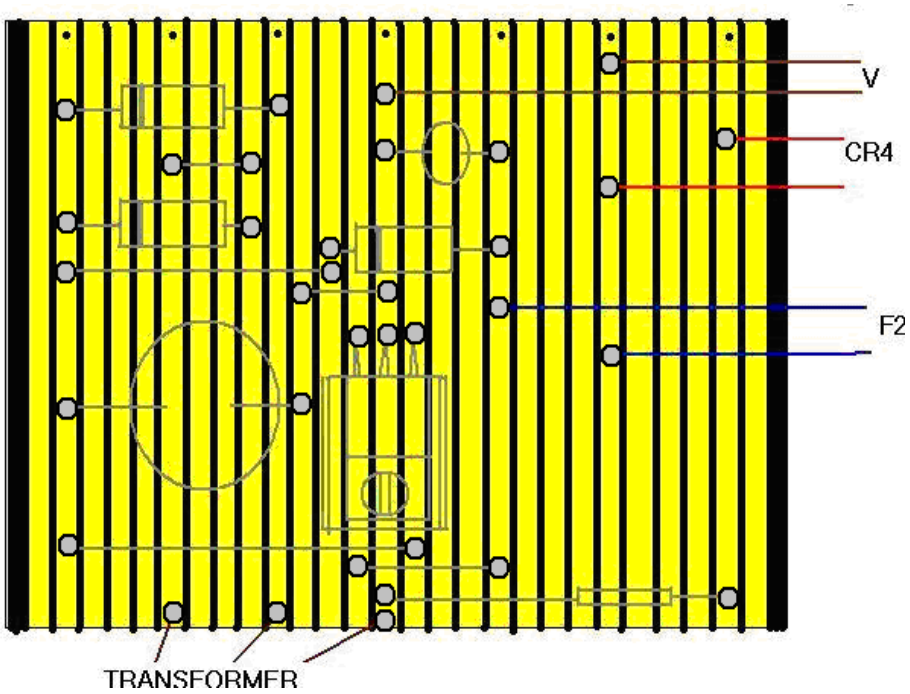
سوف نعيد شرح خطوات التنفيذ باستخدام ألواح الدوائر المطبوعة ذات الشرائط النحاسية تطبيقا على هذه الدائرة كما يلي:

١-قم بتحديد وترقيم نقاط التفريع (توصيل العناصر) بالدائرة

٢-قم بتحديد عدد الشرائح في المساحة المحددة للدائرة المطبوعة

٣-اقسم عدد الشرائح في الدائرة المطبوعة على عدد نقاط التفريع (التوصيل)

٤-الناتج يعبر عن الشريحة الرئيسية للتوصيل بالإضافة إلى شرائح التوصيل الانتقالي البينية



شكل (٢-١٢) يوضح كيفية توصيل العناصر الصغيرة الوزن و الحجم على الدائرة المطبوعة

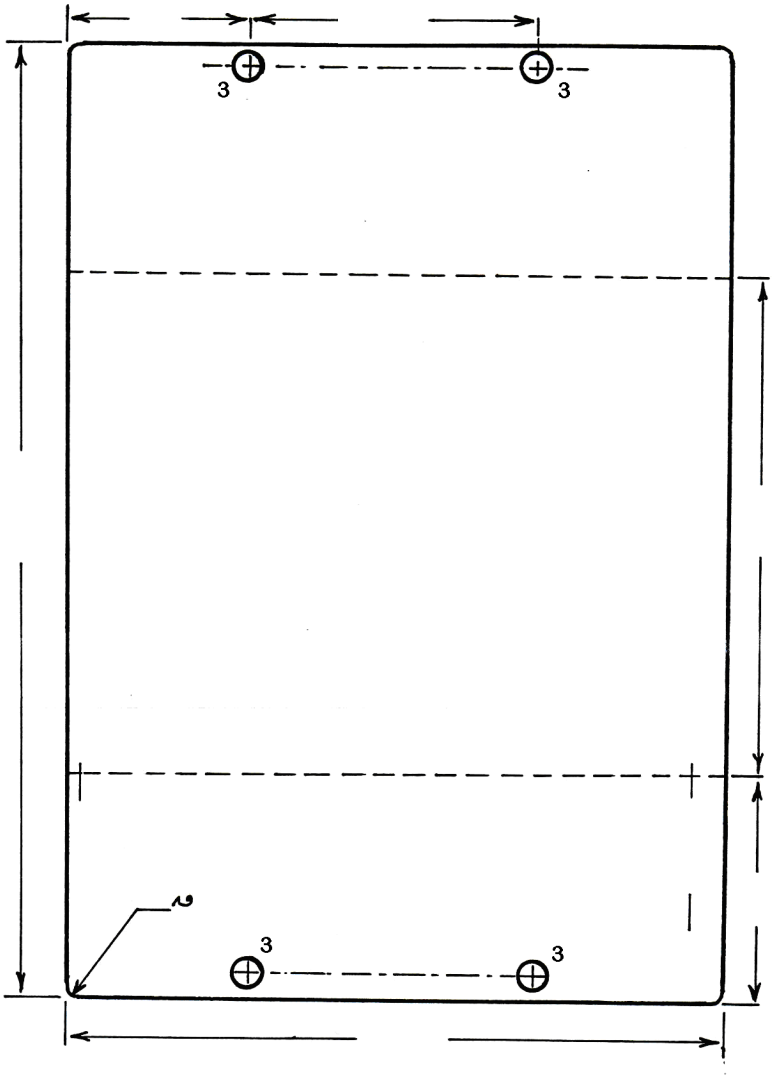
٢-٣-١٣ شكل قناع نقاط اللحام:



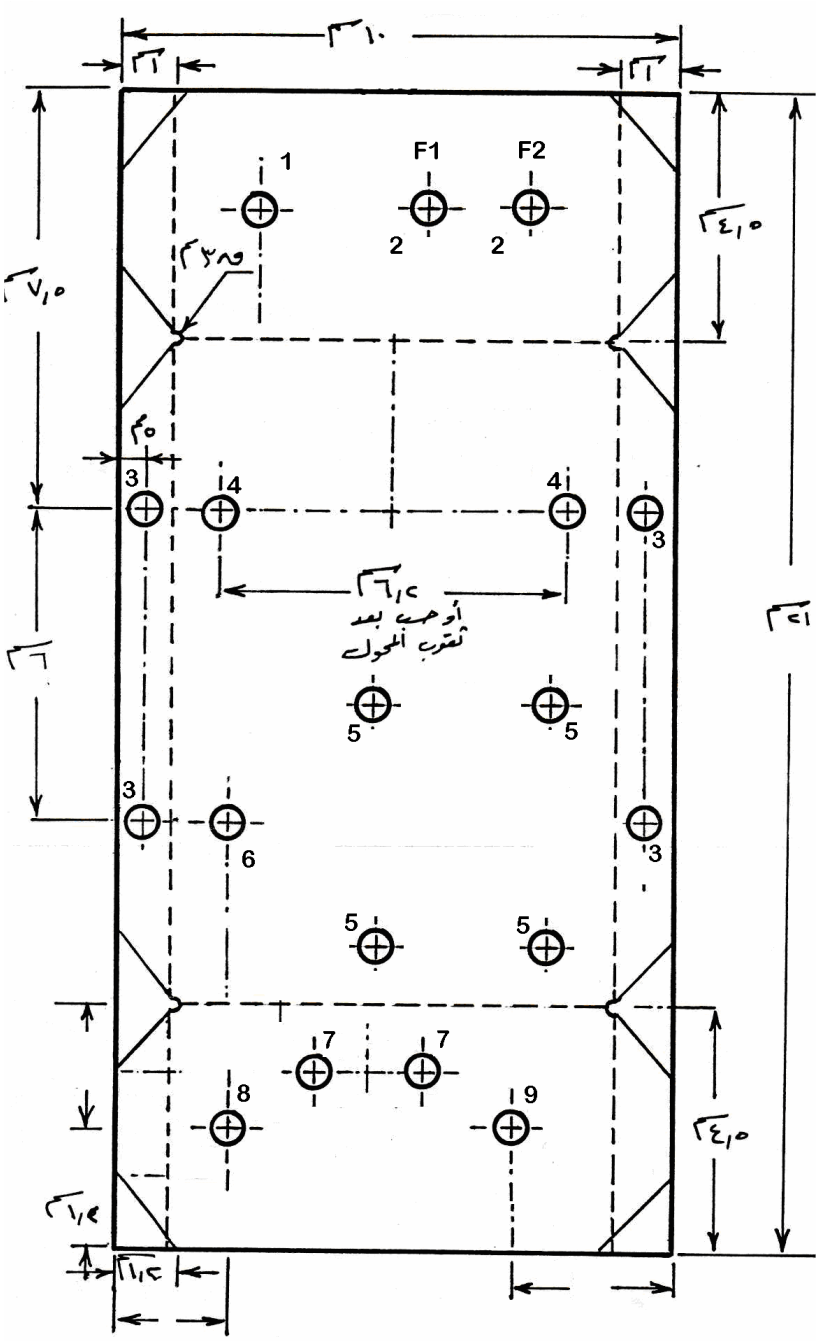
شكل (٢-١٣)

٢-٣-١٤ شكل إفراد الكابينة:

الشكل التالي يوضح غطاء الكابينة.



شكل (٢-١٤)



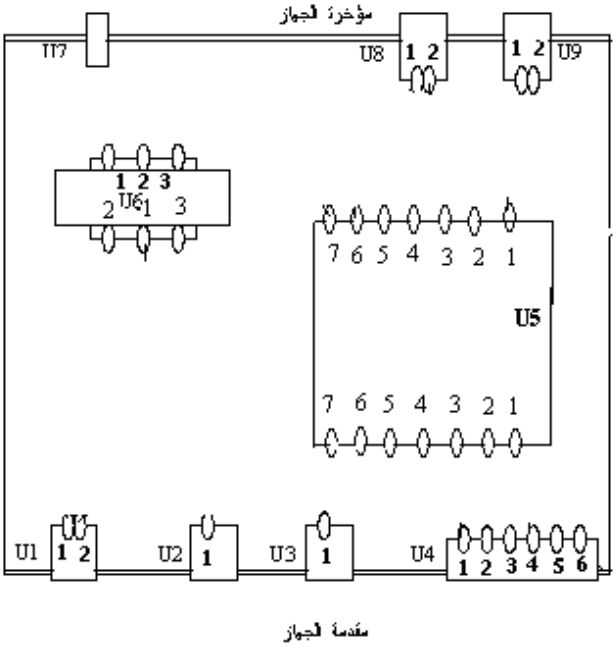
شكل (٢-١٥)

٢-٣-١٥ شكل قمة الكابينة و جدول تعريف و توزيع الوحدات بها:

جدول مسميات وحدات الجهاز:

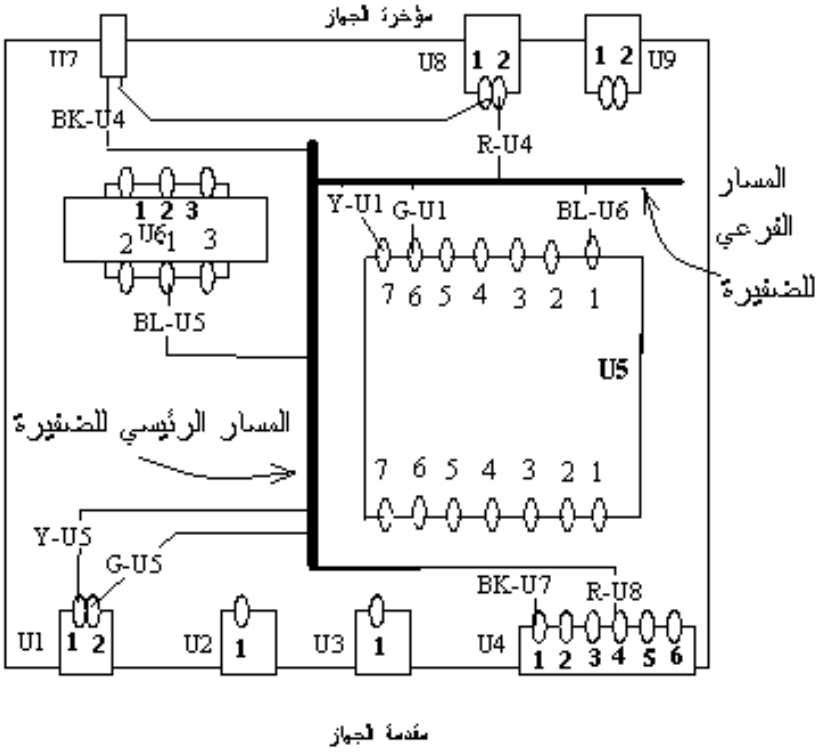
جدول رقم (٢-٥)

مسمى الوحدة في كابينة الجهاز	مسمى العنصر في الدائرة التخطيطية	مسمى الوحدة في كابينة الجهاز	مسمى العنصر في الدائرة التخطيطية
U1	CR4	U6	T1
U2	TP1	U7	AC
U3	TP2	U8	F1
U4	S1	U9	F2
U5	PCB		



شكل (٢-١٦) يوضح منظر أفقي لوحدات جهاز تغذية القدرة

٢-٣-١٦ شكل توصيلات الضفيرة داخل الكابينة:



شكل (٢-١٧) يوضح توصيلات الضفيرة داخل كابينة الجهاز

٢-٣-١٧ قائمة بتعريف الأسلاك المستخدمة في الضفيرة:

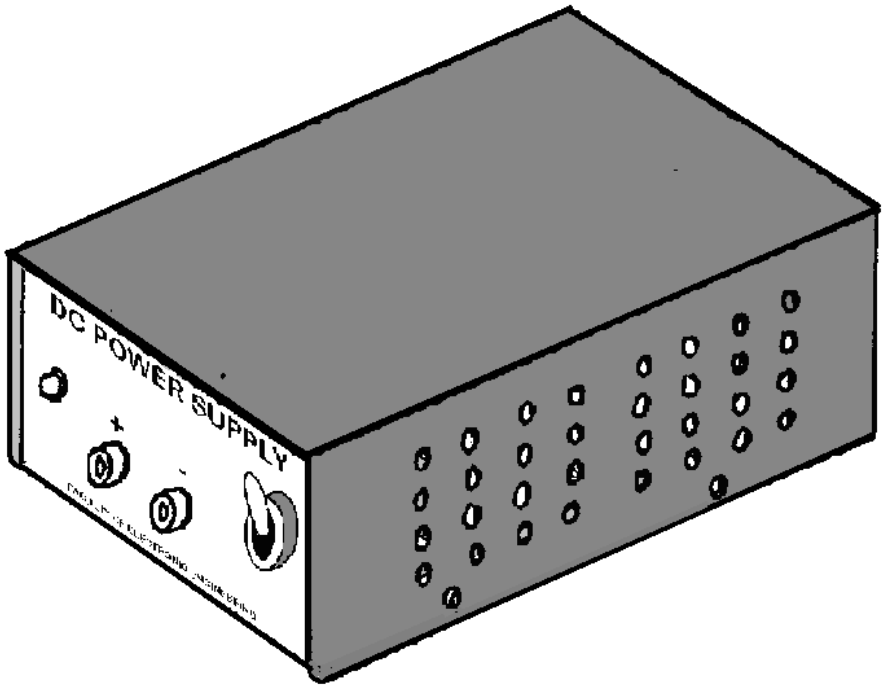
بيان بكمية الأسلاك المستخدمة في التوصيل بين وحدات الجهاز :

قم بالتوصيل بين وحدات الجهاز بواسطة الأسلاك من خلال قراءتك للدائرة التخطيطية للتمرين – استعمل ألوان الأسلاك للتمييز بين الوصلات–ثم أكتب بيان كل وصلة سلك بالجدول التالي:

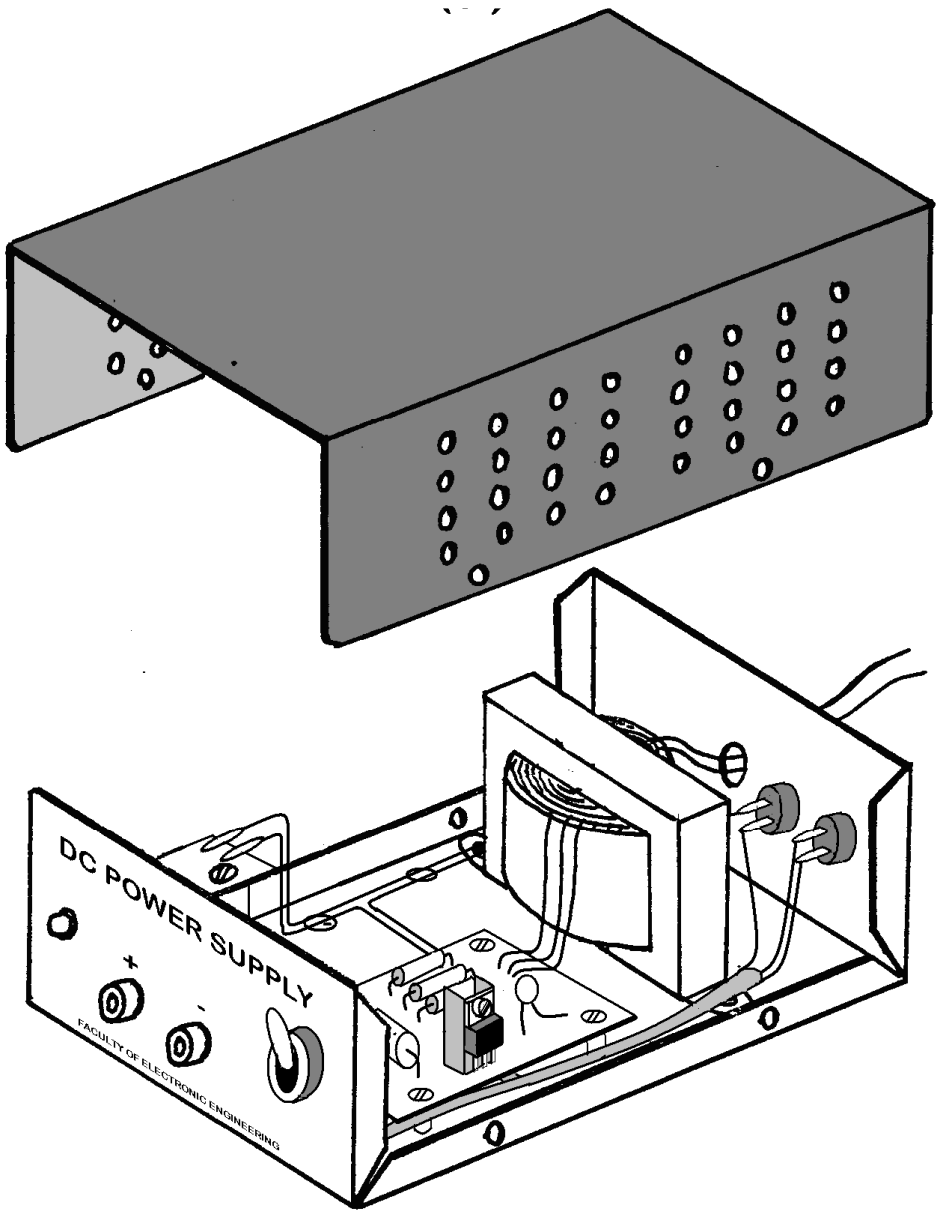
جدول رقم (٢-٦)

رقم السلك	اللون الشفري	طوله بالسم	مقياس AWG	من		إلى	
				الوحدة	الطرف	الوحدة	الطرف

٢-٣-١٨ شكل منظوري للكابينة:

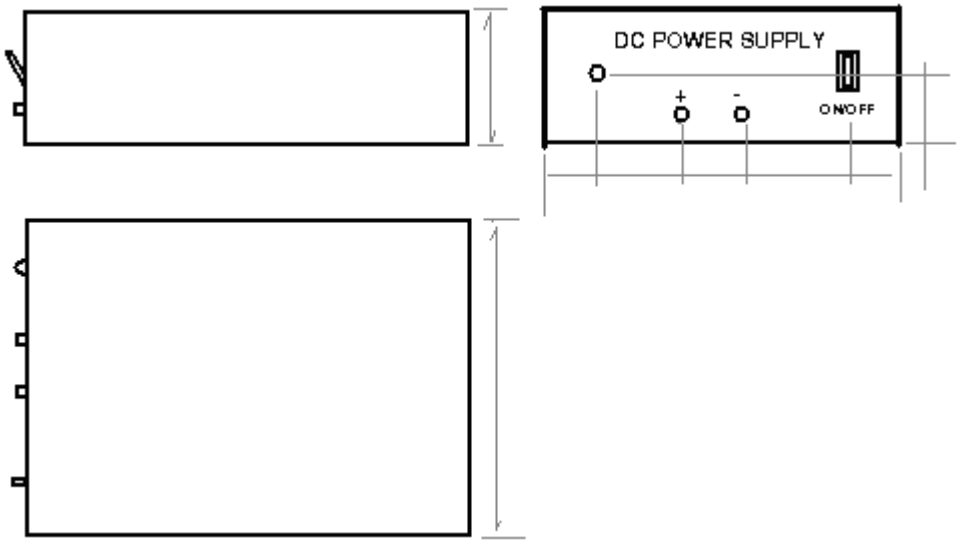


شكل (٢-١٨) يوضح منظور لجهاز تغذية قدرة



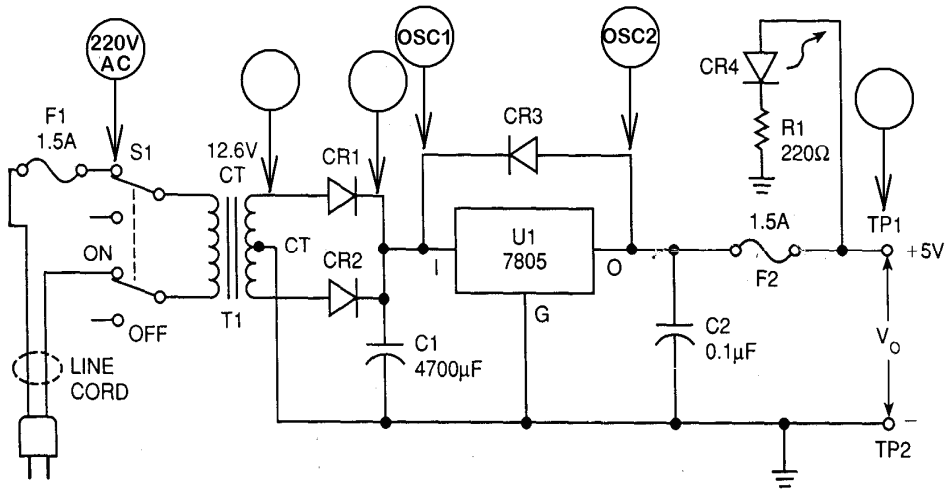
شكل (٢-١٩) يوضح منظور مفكك لجهاز تغذية قدرة

٢-٣-١٩ رسم مساقط الكابينة:



شكل (٢-٢٠)

٢-٣-٢٠ اختبار تشغيل الجهاز:

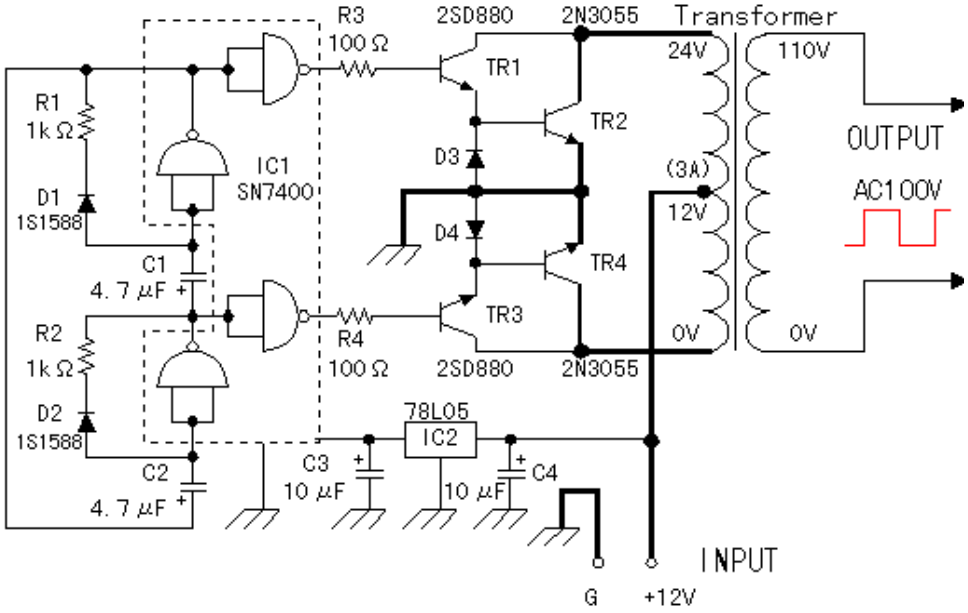


شكل (٢-٢١)

تمارين

قم بإعداد الملف الصناعي لدائرتى محول تيار مستمر إلى تيار متردد كل على حده.

DC/AC inverter

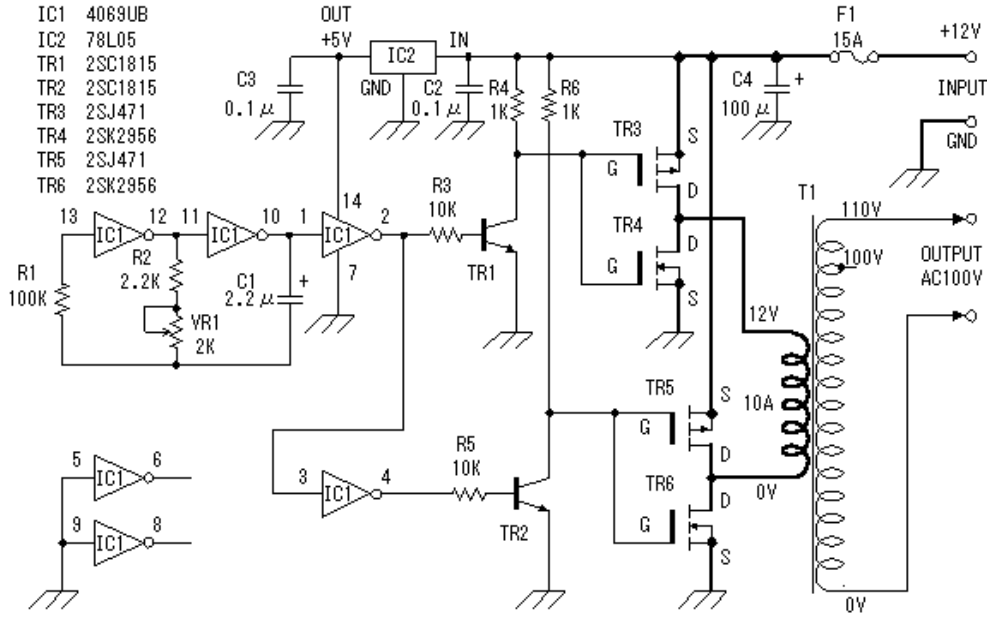


This is the circuit which outputs 100 V of the alternating current from the input of 12 V of the direct current.It is convenient to use the equipment which works in the alternating current using the battery (DC12V) of the car.

It is using the IC-type multi-vibrator for the oscillator of the alternating current. The frequency is about 60 Hz. I used 7400 as the IC for the oscillator but 7404 is OK.
The signal of the oscillator has the switching operation with TR1-TR4. TR2 and TR4 are the transistor for the main switching. Because these transistors are difficult to drive directly from the IC, they make amplify in the electric current using TR1 and TR3.

The connection between TR1 and TR2, and TR3 and TR4 connects in the way of being called "the Darlington connection".The transformer that the input is 100 V and the output is 24 V in the one with the 12 V center tap makes the input and the output opposite and uses.

Because the comparatively big electric current (about 3 A) flows through the part of the line that the circuit diagram is bold, the thick wiring materials are used.



Because the big electric current flows through the circuit shown bold lines, thick wiring material should be used.

الباب الثالث

إعتبارات
تصميم الشكل العملي (جانب اللحام)
لألواح الدوائر المطبوعة
Layout Design Considerations

الباب الثالث

إعتبارات
تصميم الشكل العملي (جانب اللحام)
لألواح الدوائر المطبوعة
Layout Design Considerations

٣-١ الإعتبارات العامة لتصميم الألواح المطبوعة

Gene١٠٤ral PCB Design Considerations:

الوظيفة الأساسيةَ للدائرةَ المطبوعة هو تُوفّيرَ الدّعم الميكانيكي لعناصر الدائرةِ وتحقيق التوصيل الداخلي بينها بشكل كهربائي. لكي يتم انجاز هذين الهدفين، هناك أنواع توزيع أسلاك مطبوعةِ مُخْتَلِفةِ تم تطويرها. فهى تختلف في المادّةِ الأساسيةِ base material (طبقات الدعم laminate)، نوع الموصل conductor، عدد المستويات الموصلة conductor planes، الصلابة rigidity،.. الخ. لذا فإنه من المتوقّعُ أنّ يكون مصممي الدائرةِ المطبوعِة مألوف لديهم بشكل كافي هذه الإختلافات وتأثيرها على التكلفةِ، وتنسيب العنصر component placement، وكثافة توزيع الأسلاك wiring density، ودورات الدفع أو التسليم delivery cycles والأداء الوظيفي. لايوجد منتج تام الصنعَ أبداً أفضل مِنْ تصميمِه الأصليِ أَو من المادّةِ التي صنع منها. ويجدر بالذكر أن

عملية التصنيع، في أحسن الأحوال، تمتاز بإمكانية إعادة أو تكرار إنتاج التصميمَ. نفس الشيء يعتبر حقيقي مع ألواح الدوائر المطبوعة. وهكذا يفترض أن الحاجة للتصميمِ المتكون وطرقِ وإجراءاتِ الشكل العملي layout لها أهميةَ حرجةَ.

يَتضمّنُ التصميمُ والشكل العملي layout بشكل متسع منظورَ أجهزةِ النظامِ الكليّة، حيث تتضمّنُ لَيسَ فقط الدائرة المطبوعة لكن كُلّ عنصر في شكلِه النهائي. اعتبارات التصميم والشكل العملي layout يَجِبُ أيضاً أَنْ تُخاطبَ العلاقة بين وتفاعلاتِ العناصر وتجميعات كافة أنحاء النظامِ.

تصميم اللوح هو السمةُ المهمةُ جداً مِنْ تكنولوجيا صناعة الدوائر الإلكترونيةِ المطبوعةِ. وغالباً، ما يستخف أو يقلل المصممونُ من تقدير الوقتُ والجُهدُ المطلوبان لتنفيذ عمل جيد. حيث يؤدي هذا إلى تأخيرَ في الإنتاجِ الجديد والتكلفة الكبيرة المتخفية أثناء مراحل الانتاج (Ross and Leonida, 1996d).

إنّ المتطلباتَ الفنية التي من المحتمل أَنْ تُؤثّرَ على تصميمِ أى من الأجهزةِ الكهربائيةِ هى البيئية والوظيفية والكهربائية والميكانيكية.

تَتضمّنُ **متطلباتُ التصميمِ الميكانيكي** الحجم والشكلِ والوزنِ؛ وموقع العناصر وكيفية تثبيتها والتفاوتات البعدية، والتحجيب والحماية للأجهزة.

متطلبات التصميمِ الكهربائيةِ لَها مثل هذه البارامتراتِ كوظيفة الدائرةِ وتوزيع أسلاك الدائرة، وإختيار العنصر بالنسبة إلى المعدلات الكهربائيةِ ومقاس وتَفاوت، والتوصيلات البينية interconnections الداخلية والخارجية.

تَتضمّنُ **بارامتراتُ التصميمِ الوظيفية**: الثقةً، وإمكانية الصيانة، وإمكانية الوصول، والهندسة البشرية (مبينات displays، تحكمات controls).

يأخذُ التصميمُ البيئي في الحسبان عواملُ مثل الصدمةِ والإهتزازِ الميكانيكيِ، ودرجات الحرارة الشديدة ورذاذ الملحِ والفطرِ proofing والتشغيل في الفضاءِ أَو تحت الماءِ.

كُلّ العوامل أعلاه لَيستْ متأصّلةَ بالضرورة في ألواح الدوائر المطبوعةِ، لكن بالتصميمِ الحذرِ، والإختيار الصحيح للموادِ والاساليب الصناعيةِ المناسبة، من المحتملُ أن تؤدي إلى تَحسين أغلب البارامتراتِ أعلاه. العوامل التالية يَجِبُ أَنْ تُؤْخَذَ بعين الإعتبار بينما تُصمّيمُ ألواح الدوائر المطبوعةً يتضمّنُ ألواحَ متعددةَ الطبقات. هناك العديد مِنْ العواملِ تُؤثّرُ على تصميمِ ألواح الدوائر المطبوعة.

٣-١-١ العناصر الهامة للتصميمِ

Important Design Elements:

معلومات التصميمُ التي يَجِبُ أَنْ تكون مزودة مِن قِبل مصممِ الأجهزةَ إلى مصممِ لوح الدائرة المطبوعة تسمى عناصرِ التصميمِ. وهى:

١. نوع الدائرةِ (تماثلية أَو رقمية،.. الخ.)؛
٢. مقاس اللوح
٣. عدد الطبقاتِ
٤. مقاسات تكوم الوسائد
٥. مقاسات الفتحات
٦. سُمك الطبقةِ
٧. سُمك اللوح
٨. التوصيلات الخارجية
٩. فتحات التثبيت
١٠. سُمك طبقةِ التغذية والأرضيِ و
١١. تفاصيل ومواصفاتِ العناصر.

٣-١-٢ البارامترات الهامة للأداءِ

Important Performance Parameters:

البارامترات الهامة للأداء هى:

١. قوّة الشدّ؛
٢. قوّة المرونة Flexural؛
٣. الصدمة والإهتزاز؛
٤. الصدمة الحرارية ودورة درجة الحرارة؛
٥. مقاومة الرطوبةِ؛
٦. مقاومة الفطرِ؛
٧. رذاذ الملحِ؛
٨. الالتواء أَو اللف؛
٩. جهد انهيار العازل؛
١٠. قابلية اللحام وإعادة قابلية اللحام؛
١١. مقاومة العزلِ (سطح وكتلة)؛
١٢. مقاومة الاشتعال؛
١٣. إرتفاع درجةِ حرارة الموصل؛
١٤. قابلية الميكنة؛ و
١٥. إعتبارات السلوك العالي للوح.

٣-٢ الإعتبارات الميكانيكية للتصميمِ

Mechanical Design Considerations:

٣-٢-١ أنواعِ الألواحِ المطبوعة

Types of Boards:

إعتباراتَ تصميمِ الشكل العملي layout في أكثر أنواعِ الالواح المستعملةِ عموماً مُفصّلة فيما يلي.

الألواح أحادية الجانب Single-sided Boards : هذه تَستعملُ في الغالب في التطبيقاتِ التي

يجب أن تبقى فيها التكلفة عند الحَدّ الأدنى. عندما يقفز تصميم الشكل العملي layout ، فوق المساراتِ الموصلة، فإمّا العناصر أو الاسلاك القافزة تكون مستعملة. إذا كان عددِ حالات القفز كبير جداً، فإنه في هذه الحالة يجب أنْ تؤخذ ألواح الدوائر ثنائية الجانب بعين الإعتبار.

ألواح ثنائية الجانب Double-sided Boards : يمكن أن تصنع الألواح ثنائية الجانب بفتحات خلالية مطلية PTH أو بدونها. حيث تعتبر الألواح ذات الفتحات الخلالية المطلية PTH غالية الثمن، ويتم الاختيار حيثما كان تعقيدَ وكثافةَ الدائرةَ يَستلزمانِ إستعمالها.

في تصميمِ الشكل العملي layout ، الموصلات على جانب العنصر يجب أنْ تبقَى أدنى في العددِ لتأكيد مقدرة المصدر sourceability (جانب المسارات) السهل.

في الألواحِ التي تحتوي فتحات خلالية مطلية PTH، يجب أن تستعمل فتحة العبور via فقط للتماسات الخلالية through contacts ولَيس لتثبيت العنصر component mounting. عدد فتحاتِ العبور يَجِبُ أَنْ يبقى عند الحد الادنى لأسبابِ إقتصادِية والثقةِ.

لكي يَتّخذَ قرار تحديد عددِ الجوانبِ (الطبقات)، مثل الألواح أحادية الجانب أَو ثنائية الجانب، من المُهمِ الأخُذْ في الإعتبار المساحة السطحيّةَ للعنصر (C)، التي هى عبارة عن نسبة مئوية ثابتة جداً من أجمالي مساحة لوح الدائرة المطبوعة (S)، وهى مفيدة للعناصر المثبتة. قَدْ يُلاحظُ أن (S) تحْسَبُ عادة لجانب واحد من اللوح. الجدول رقم ٣-١ يوضح المدى العادي للنسبة S:C للأنواعِ الأكثر شيوعاً من ألواح الدوائر المطبوعة.

جدول رقم (٣-١) نسبة لوح الدائرة المطبوعة إلى مساحة العنصر

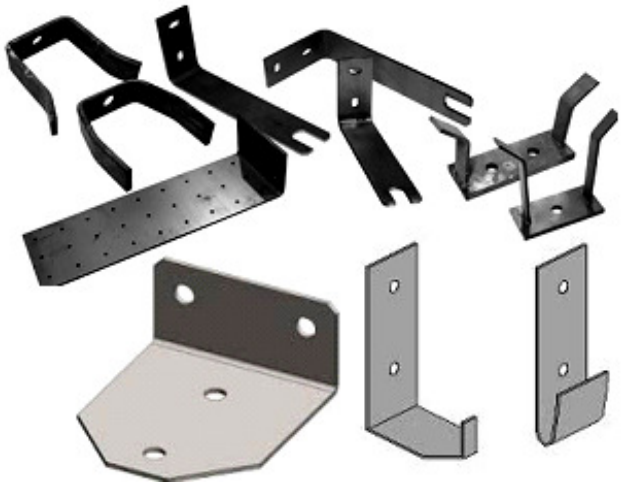
Board Type	Single-sided	Double-sided PTH
Discrete components (ICs no more than 5% of the area)	2–3	1.5–2
Mixed (ICs from 35 to 50%)	2.5–4	2–3
IC board (discrete components no more than 20%)	4–6	2–3

القِيَمُ الموضحة في الجدول سَتُؤْخَذُ كتعليمات فقط لأنها تعتمد على المعايير المختارة لعرضِ الموصل، قطر الوسادة، الخلوص الأدنى، .. الخ.

عُموماً، القرار حول عددِ الجوانبِ يَجِبُ أَنْ يَكُونَ مربحاً بالكامل. كقاعدة الإبهامِ، لوح الدائرة المطبوعة الثنائي الجانب بفتحات خلالية مَطْليةِ يتكلف من ٥ إلى ١٠ مراتِ أكثر مِنْ لوح الدائرة المطبوعة أحادي الجانب. أيضاً، تكلفة العنصر المجمع هى إعتبارُ آخر مهمُ. التكلفة التقريبية لَتجميع (يدوياً) العناصر على لوح الدائرة المطبوعة هو ٢٥ –٥٠ بالمائة من تكلفةِ لوح الدائرة المطبوعة احادية الجانب و١٥ –٣٠ بالمائة من تكلفةِ لوح الدائرة المطبوعة ثنائية الجانب ذات الفتحات الخلالية المطلية PTH.

يعطي لوح الدائرة المطبوعة دعم ميكانيكي وتوصيلية للعناصر المثبتة عليه. لذا فمن الضروري لمصممِ لوح الدائرة المطبوعة معْرِفة المقاسات الطبيعيةِ الكلية للوح (الأبعاد العامة outline dimensions)، وموقع فتحاتِ التثبيت، وقيود الإرتفاعِ والتفاصيلِ ذات علاقةِ. فيما يلي، الإعتبارات الرئيسية للتصميمِ الميكانيكي للوح الدائرة المطبوعة:

١. توافقِ مقاس اللوح المثالي مع عمليةِ تصنيع لوح الدائرة المطبوعة؛
٢. تحديد مواقع : فتحاتِ تثبيت اللوح، وأدوات التثبيت الميكانيكية brackets الشكل رقم (٣–١)، والمشابك، والدبابيس، وصناديق التحجيب ومسربات الحرارةَ؛



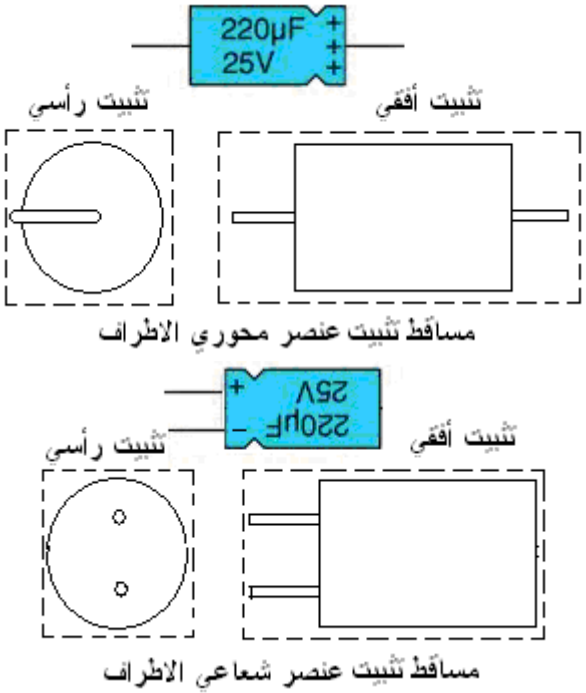
شكل (٣–١) يوضح أدوات التثبيت الميكانيكية Brackets

٣. ترتيب الأوضاع الصحيحة للعناصر الثقيلةِ؛
٤. قطر الفتحةِ الصحيحِ لتثبيت العنصر؛
٥. مُقَاوَمَة الإجهادِ الميكانيكيِ للوح المُجمّع وحَدَوث الإهتزازاتِ في حالة النقل؛
٦. وضع تركيبِ اللوح (عمودي/أفقي)؛
٧. طريقة التَبريد؛ و
٨. متطلباتُ الموقع النوعي لعناصر التشغيل مثل عناصر التشغيل من الواجهة الأماميةِ : المفاتيح الانضغاطية push buttons، مقاومات متغيّرة variable resistors ،.. الخ.

٣-٢-١-١ تحديد مساحة العنصر

Determining the Component Area:

مساحة العنصر على اللوح مَحْسُوبةُ بإضافة المساهمةِ لكُلّ عنصر مفرد. كُلّ عنصر يؤخذ في الاعتبار على أنه أحد الاسقاطات المتعامدة على اللوح الشكل رقم (٣-٢). نحصل على أبعاد العنصر لأحد الاسقاطات المختارة مِنْ دليلِ المنتجَ أَو بواسطة القياس المباشر للعنصر.



شكل رقم (٣-٢) يوضح مساقط تثبيت العناصر المحورية والشعاعية الاطراف

يتم تمثيل العناصر بأشكال هندسية بسيطة، على سبيل المثال، أى دائرة متكاملة في صورة أو هيئة تغليف ثنائي الصف DIP تعتبر مستطيل ولذا تكون كعنصر محوري. على أية حال، لأى عنصر محوريٍ مثبت أفقياً، نجد أن عرض المستطيلِ سَيَكُونُ عبارة عن قطرَه بينما الطول سَيَكُونُ عباره عن جسمه بالاضافة إلى جزئية الاطراف للعنصر ذاتهِ. بنفس الطريقة، الترانزستور ذو التغليف TO-18 سَيُمثّلُ كدائرة هندسية.

الأجزاء الّتي ستثبت على لوح الدائرة المطبوعة يَجِبُ أَنْ توضح في قائمةِ الأجزاءَ. كُلّ جزء يَجِبُ أَنْ يَكُونَ معرف بواسطة مسمى اسنادي فريد unique reference designator ووصف للجزءِ. على سبيل المثال المقاومة قَدْ تكُونُ معرفة بالمسمى الإسنادي R1 مَع وصف بأنها مقاومة فيلم كربوني قدرتها ¼ وات. أيّ معلومات إضافية مفيدة لعمليةِ التجميع يُمْكِنُ أَنْ توضع في هذه القائمةِ، مثل طريقة التثبيت، ومباعدات الجزء spacers، وأغطية القابسconnector shrouds، أَو أيّ مادّة أخرى لَيستْ معروضةَ في الشكل التخطيطيِ. صناع الجزء يُزوّدُون العملاء بأوراقَ البيانات data sheets لِكي تستعمل من قبل مصممِ الدائرةَ circuit designer لإخْتيارَ الأجزاءِ للدائرةِ. لتَصميم لوح الدائرة المطبوعة، يَجِبُ أَنْ تحتوي هذه الاوراق أيضاً على الأبعادُ الطبيعيةُ لهذا الجزء.

٣-٢-١-٢ حساب الحجم أو الكمية

Volume Computing:

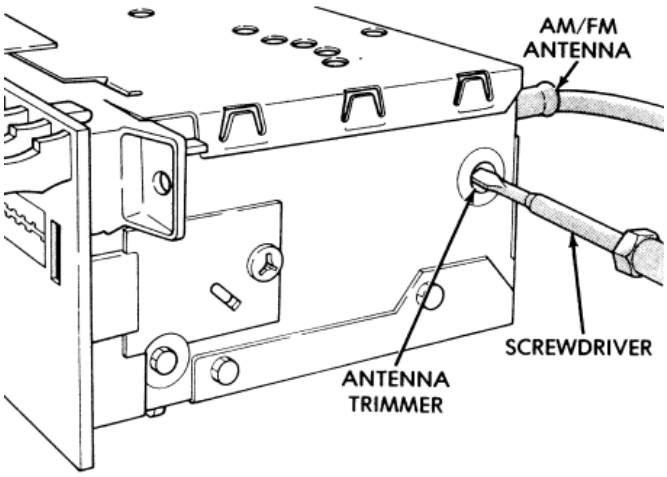
بَعْض الأجهزةِ يَجِبُ أَنْ تتُلائمَ مع مضمّنِ enclosure موجود بالفعل لإحتوائها، والذي من خلاله يُمْكِنُ أَنْ يُحدّدَ مقاس اللوح أَو يترك المصمم مَع ختياراته فقط من خلال عدد صغير مِنْ مقاسات اللوح المُفَضَّلةِ. في العديد مِنْ الحالاتِ، مقاس وعدد ألواح الدائرة المطبوعة مَفْرُوض بمفهومِ التصميمِ الخارجيِ للأجهزةِ. على سبيل المثال، لنظام الاستقبال paging system receiver، يَجِبُ أَنْ يَكُونَ لوح الدائرة المطبوعة صغيرَ جداً لأن هذه الاجهزة تكون مَحْمُولُة في الجيبِ. بنفس الطريقة، لوح الدائرة المطبوعة لمنظّمِ القلب القابل للزرعِ implantable pacemaker يَجِبُ أيضاً أَنْ يَكُونَ صغير جداً كمنظّم للقلب يتم زرعه في الجسمِ. مالم يكن هناك متطلب إلزامي لإسْتِعْمال مضمّن قياسي standard enclosure، المضمّن enclosure أَو العلبة case يَجِبُ أَنْ يُصمّما لمُلائمَة النظامِ لتَجَنُّب إجْبار النظامِ إلى مقاس المضمّنِ التي قَدْ تجبر على إستعمالَ مقاس لوح غير قياسيِ أَو غيرِ أمثل. في مثل هذه الحالاتِ، المقاس المتاح لتجميع إلكتروني يكون مَحْسُوب بعناية.

بدلاً مِنْ المقاس الفعلي، من المهم معْرِفة المقاس الأقصى الذي يحتله اللوح في أسوأ الحالات، متَضْمناً توضيحات الأمانَ.

٣-٢-١-٣ مقدرة الوصول للعناصر القابلة للضبط أو التعديل أو الاستبدال

Accessibility for Adjustable Components:

العناصر القابلة للضبط، عادة المقاومات المتغيّرة، مشتركة وشائعة في العديد مِنْ تجميع البطاقات الإلكترونيةِ المطبوعةِ. هذه العناصر يَجِبُ أَنْ تثبت على لوح الدائرة المطبوعة بطريقةٍ ما تكون سهلة للوصول إليها كما بالشكل رقم (٣-٣).



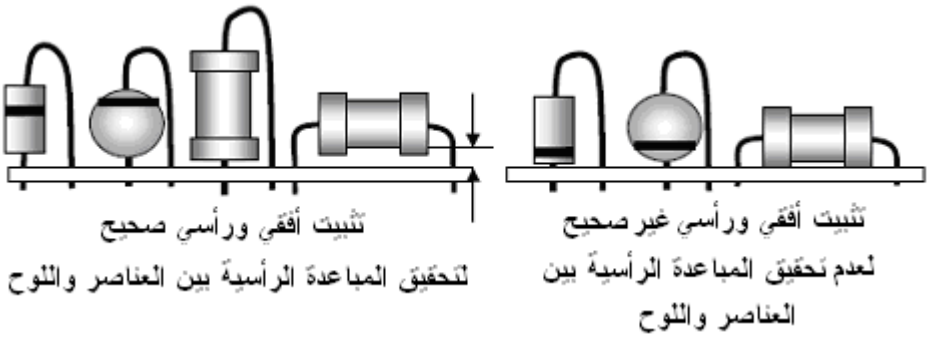
شكل رقم (٣-٣) يوضح مواقع ضبط ومعايرة العناصر المثبتة على لوح الدائرة المطبوعة

٣-٢-١-٤ التثبيت الأفقي أو العمودي للعناصر

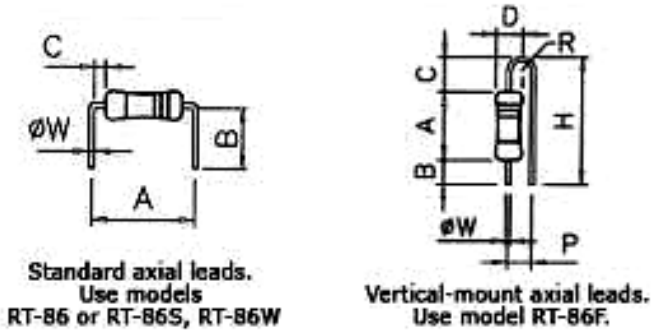
Horizontal or Vertical Mounting of Components:

العناصر محورية الطرفين يُمْكِنُ أَنْ تثبت أمّا بشكل أفقي أَو بشكل عمودي كما بالشكل رقم (٣-٤) مع ترك فراغ بين العناصر وسطح اللوح المطبوع وأيضاً العناصر الشعاعية الشكل (٣-٦). تتطلب العناصر المحورية المجمعة بشكل عمودي أقل مساحة سطحية، مؤديةً إلى لوح مطبوع أصغر. على أية حال، هذا الاسلوب الفني لَه بَعْض الأضرارِ مثل الثقةِ الأقل، والصعوبةً المتزايدة في تشكيل أطراف العنصر والتجميع اليدوي إلا أنه يوجد ماكينات تقوم بتشكيل الاطراف طبقاً لجداول لديها

يستطيع المصمم الالتزام بها كما هو موضح بالشكل رقم (٣-٥). بالإضافة، إلى الكثافة المتزايدة للموصلات يُمْكِنُها أَنْ تُحدّدَ كثافةَ التغليف. التثبيت العمودي يَجِبُ أَنْ يتم اختياره فقط عندما تكون المساحة محدودة وهناك حدود للحجمِ، وبالطبع، في الحالاتِ التي يكون فيها بعض عناصر اللوح لَها إرتفاع والذي قد يكون أكبر مِنْ تلك العناصر المحوريةِ.

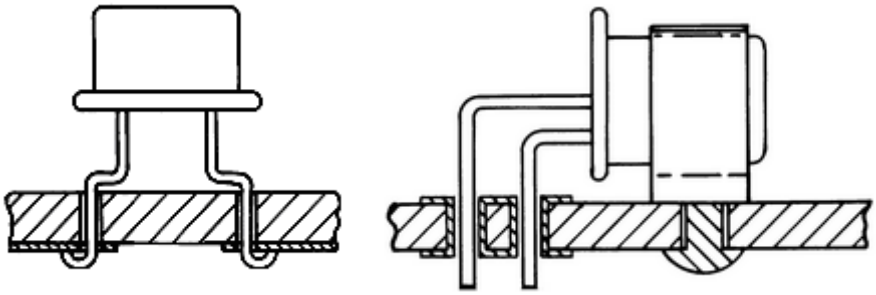

تثبيت أفقي ورأسي غير صحيح
لعدم تحقيق المباعدة الرأسية بين العناصر واللوح
تثبيت أفقي ورأسي صحيح
لتحقيق المباعدة الرأسية بين العناصر واللوح

شكل رقم (٣-٤) يوضح كيفية تثبيت العناصر محورية الطرفين أمّا بشكل أفقي أَو بشكل عمودي

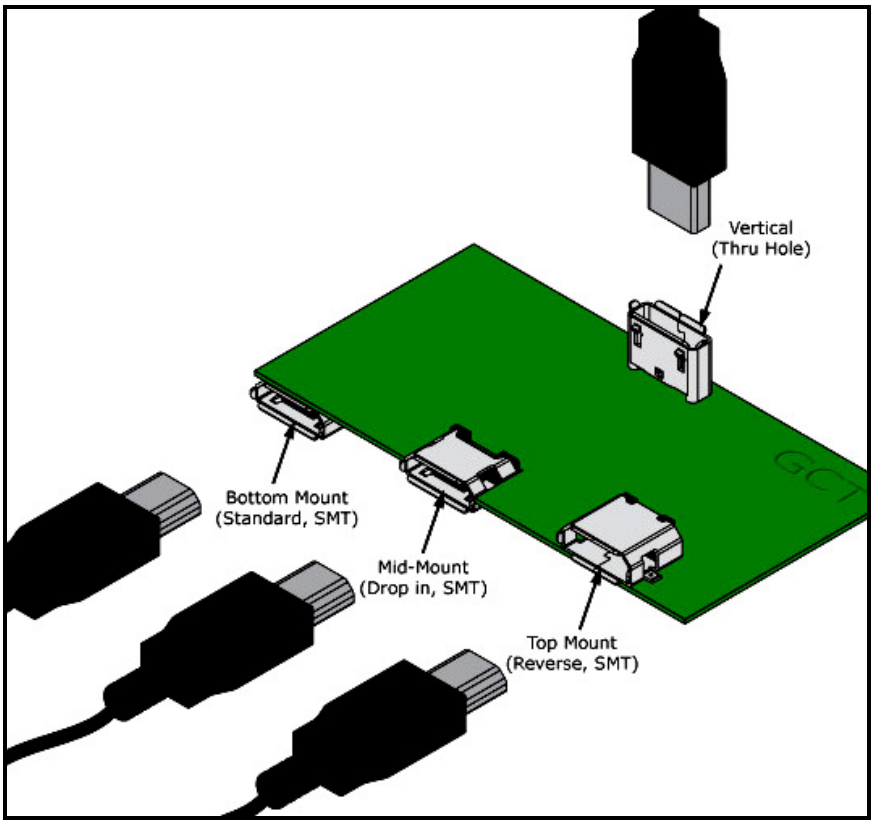


RT-86 Axial Lead Former - Specifications				
	RT-86S	RT-86	RT-86W	RT-86F
A	5mm - 40mm	6mm - 40mm	6mm - 40mm	3.6mm - 18mm
B	3.6mm - 15mm	3.6mm - 15mm	3.6mm - 15mm	2-12mm
C	0.6mm Min	1.2mm Min	1.2mm Min	3mm Min
D	1.5-8mm	1.5-8mm	1.5-8mm	1.5-8mm
H				25mm Max
W (diam)	ø0.35 - ø0.8mm	ø0.35 - ø1.0mm	ø0.35 - ø1.5mm	ø0.35 - ø0.8mm
P				2.5-13.5mm
R (radius)				1-3mm

شكل رقم (٣-٥) يوضح ماكينة تقوم بتشكيل الاطراف طبقاً لجداول لديها



شكل رقم (٣-٦) يوضح كيفية تثبيت العناصر شعاعية الأطراف أمّا بشكل أفقي أَو بشكل عمودي

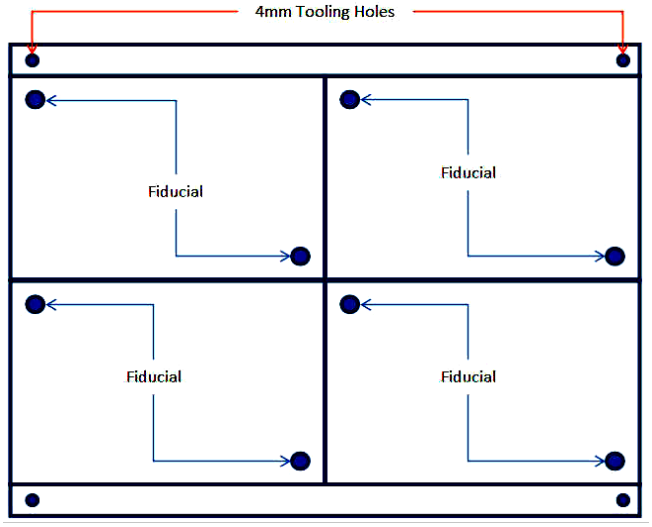


شكل رقم (٣-٧) يوضح طرق تثبيت مقابس USP على لوح الدائرة المطبوعة.

٣-٢-١-٥ مقاس اللوح

Board Size:

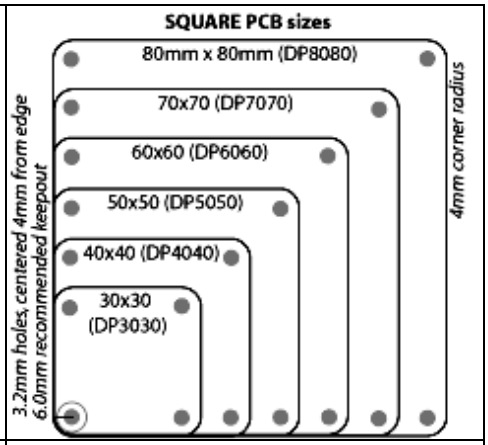
أي بطاقة إلكترونية مطبوعة ذات وظيفة معينة ولا تعتبر مُنتَج في حد ذاتها، تتطلّبُ دائماً توصيلات إلى العالم الخارجي للحُصُول على القدرة، وتبادلُ المعلومات، أَو عْرضُ نَتائِجَ (شاشة مثلاً). وهى قد تكون في حاجة لتثبيتها في علبة أَو إدخالها على رفّ منزلق لإداء وظيفتِها. قد يكون هناك مساحات تَتطلّبُ قيودَ للإرتفاعِ أعلى اللوح. فتحات التشغيل Tooling والمساحات خارج الدائرة قَدْ تُتطلّبُ في اللوح لأغراض التجميع والتصنيع. كُلّ هذه العواملِ مَنْ الضَّرُوري أَنْ تُعرّفَ قبل بداية تصميم اللوح، شامل ذلك الأبعادِ القصوى للوح ومواقعِ المقابس، والمبينات، وأدوات التثبيت الميكانيكية brackets أَو أيّ بيانات خارجية أخرى. راجع الشكل (٣-٨).



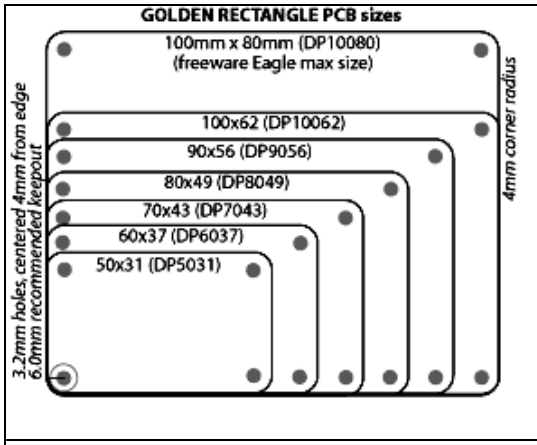
شكل رقم (٣-٨) يوضح فتحات التشغيل وفتحات الضبط أو التوافق أو التطابق (الطبقات بما عليها من بيانات مع بعضها البعض)

لكي يَتفادى التوصيلات البينية interconnections بين ألواحِ الدوائر المطبوعة PCB المختلفة خلال الإطراف، أو الكابلات أَوالمقابس، من المفضّلُ إسْكان كُلّ مجموعة الدوائر على لوح مفرد. هذه النظرةِ، في العديد مِنْ الحالاتِ، يُمْكِنُ أَنْ تؤدّي إلى ألواحِ بمقاسات كبيرةِ بشكل غير متكافيء، مما يؤدي إلى الحاجة لفراغ أكبر فأكبر للتوصيلات البينية interconnections ، مما يُؤدّي هذا

إلى إضطراباتِ أكثرِ في الوظيفة. من الناحية الأخرى، الكثير جداً مِنْ الألواح الصغيرةِ تُشكّلُ دائرةَ كاملةَ واحدة يُمْكِنُ أَنْ تُؤدّي إلى تكلفةِ أعلى لكن النتيجةَ تكون عدم الثقةَ الناتجة عن عِدّة توصيلات بينية interconnections وقابسات خارجية. عُموماً، أى نظامِ أَو أجهزةٍ تتكون من الألواح الأصغر تكون أسهلُ في عمليات الاصلاح والخدمة بسبب تركيبِة الوحدة modular وراحة عَزْل طرقِ التدفقِ للإشارة، الأشكال رقم(٣-٩و ١٠) توضح مقاسات الألواح العيارية.



شكل رقم (٣-٩) يوضح مقاسات لوح الدائرة المطبوعة المربع الشكل القياسية



شكل رقم (٣-١٠) يوضح مقاسات لوح الدائرة المطبوعة المستطيل الشكل

عند تصمّيمُ الشكل العملي layout ، من الممارسات الجيدة ترك من ٥ إلى ١٠ بالمائة من المساحة المصممة لأيّ تعديل يمكن أن يُتطلّبُ على اللوح. وهذا عادة ما يتم في التخطيط النموذجي prototyping أَو مرحلة الإنتاج بالدفعةِ batch production stage. يعتبر تصميمَ الشكل العملي layout أفضل عمل عندما يكون التصميمِ الطبيعيِ من شكل الانتاج النهائي متوفرُ لمُجَاراة شكل ومقاس اللوح طبقاً لنفس المتطلباتِ.

بينما العَمَل على مقاس اللوح، فإننا نصادف قيود موضعية locational constraints فيما يتعلق بالعناصر التاليةَ :

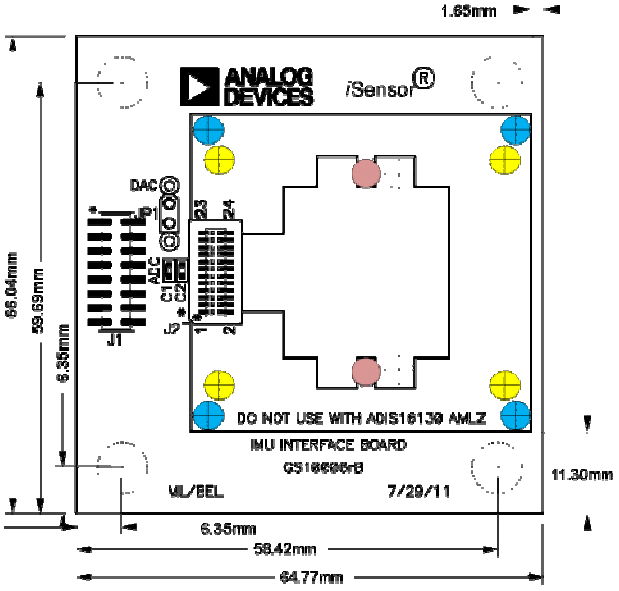
- مقابس أَو شرائط التوصيل؛
- مساحات التركيب أَو الرَسُو (الارتكاز)؛ و

- عناصر التحكم أو الضبط مثل المفاتيحِ switches والمقاومات المتغيرة potentiometers.

إضافةً إلى هذا، فتحات التثبيت سويّاً مع مناطقِ الأمانَ حولها تكون ثابتة. بهذه الطريقة، المنطقة الصافية من لوح الدائرة المطبوعة PCB مَحْسُوبةُ مِنْ المنطقةِ الإجماليةِ، ويؤخذ بعين الإعتبار القيود الهندسيةَ التاليةَ:

- فتحات التشغيل Tooling holes

فتحات التشغيل Tooling holes تُضافُ إلى الألواحِ لعديد من الأسباب. فنجد أن مصنعي لوح الدائرة المطبوعة يَستعملونَها لتَرتيب وضبط اللوح أثناء الثقب drilling والتوجيه routing. بينما القائمين بعملية التجميع يستعملُونها للإصطفافِ مع الإستينسل أثناء طباعة معجونِ اللحامِ، ولتحديد الموقعِ على ماكينات الالتقاط والوضع pick-and-place machines . وهذا النوع من الفتحات مستعمل للإصطفافِ على أجهزة الإختبارِ الكهربائيةِ. وهى لَرُبَّمَا أيضاً تستعمل كفتحات إصطفافُ في المضمّنِ النهائي، في أغلب الأحيان تتزاوج مع المواقع أو المراكز البلاستيكيةِ المُقَولَبةِ الصغيرةِ







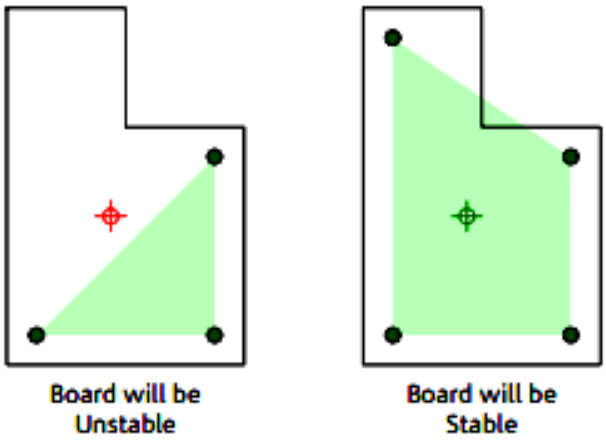
شكل رقم (٣-١١) يوضح لوح دائرة مطبوعة مزود بأنواع مختلفة من الفتحات

البعض مِنْ أغراضِ فتحات التشغيل tooling holes هو إمكانية وضعها في لوح التشغيل العامّ overall panel ، لكن للأنشطة التي تحدث بعد فض لوح التشغيل أى فصل الدوائر المطبوعة المتكررة عن بعضها البعض de-panelling، أَو للألواحِ التي لم يتم تحويلها إلى لوح تشغيل panelised، تطلب فتحات التشغيل ضمن الشكل العام للوح، الشكل رقم (٣-١١).

فتحات التشغيل Tooling holes في أغلب الأحيان لها مقاسات قياسية، لتتوافق مع دبابيسِ تَحديد المكان المستعملةِ على نحو مشترك.المقاسات الاجبارية المشتركة هى: ٠.٠٦٢ "، ٠.٠٩٣ "و ٠.١٢٥ ". المقاسات المترية المشتركة هى: ١.٠ مليمترَ، ١.٥ مليمتر، ٢.٠ مليمتر، ٢.٥ مليمتر و ٣.٠ مليمتر.

فتحات التشغيل دائماً غير مَطْلية un-plated . وهذا يَعطي الدقة الأفضل حيث أن سُمكِ الطلاء لَيس مسيطر عليه بشكل جيد. توضع فتحات التشغيل نحو الزوايا الخارجيةِ للوح.

وَضْع فتحاتِ التشغيل قُرْب الحواف الخارجيةِ للوح يساعدُ على ضمان أن اللوح سَيكُونُ مستقرّ عندما يكون مدعومُ على مَسابرِ تَحديد المكان قَبْلَ أَنْ غْلقُ منضدة الاختبار. مركز ثقل اللوح يَجِبُ أَنْ يكُونَ داخل المضلّعِ الموصوف بمواقعِ الدعمَ، الشكل رقم (٣-١٢).



شكل رقم (٣-١٢) يوضح ضرورة أن يكون مركز ثقل اللوح في حيز المضلع الموصوف بمواقع فتحات التشغيل.

حاول المحافظة على المسافةِ المحتملةِ الأكبرِ بين الفتحاتُ التي تعظم دقةَ الإصطفافِ.

- فتحاتِ الموقع Locating holes (للتجميع):

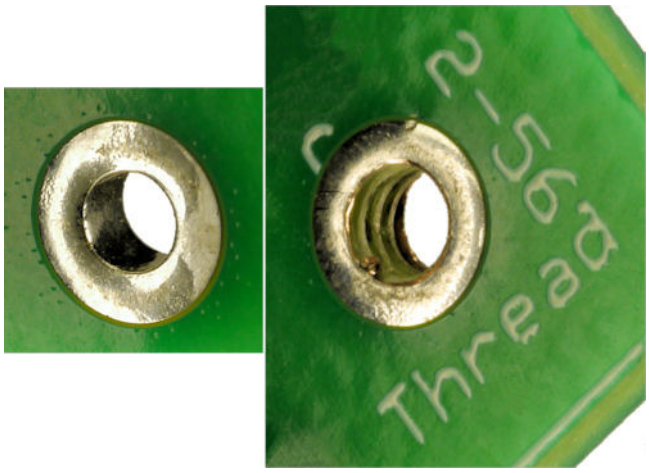
القطرَ المُفَضَّلَ يساوي ٣.١٧٥ مليمترُ، موقعها عادة يكون بالقرب من الحافةِ الأطولِ للوح، بالمدى المحتملِ الأوسعِ. مركزها يَجِبُ أَنْ يَكُونَ على الأقل ١.٥ مرة من قطر الفتحةَ مِنْ حافةِ اللوح، لكن لَيسَ أقل مِنْ ٢ مليمترِ. منطقة الأمانِ حولها يَجِبُ أَنْ تَكُونَ بالشكلِ الدائريِ.

- فتحات تثبيت اللوح Mounting holes :

تثبيت اللوح في كبائن ومضمنات الاجهزة الالكترونية. مناطق الأمانِ مَنْ الضَّرُوري أَنْ تُزوّدَ حول فتحاتِ التَثبيت، محتفظة في المسقط مقاس الورد ومسامير القلاووظ، مالم يستخدم ورد عَازْلة كما بالشكل رقم (٣-١٣).

- حواف اللوح Board Edges :

عادة يجهز شريط أمانِ ٢ – ٥ مليمترِ بطول كُلّ الحواف. هذا يعتبر ضروريُ لأن تَشْذيب (تهذيب) حواف اللوح يُمْكِنُ أَنْ يُسبّبَ تفكك الطبقات الداعمة للمساحات النحاسيةِ القريبة جداً إلى الحافةِ.



شكل رقم (٣-١٣) يوضح نوعين من فتحات تثبيت اللوح

عموماً لَيسَ من الممكن وَصْف معيار مقاس لوح قابل للتطبيق عالمياً، مع ذلك فإن مقاس اللوح المثالي يَجِبُ أَنْ يَكُونَ لا كبير جداً ولا صغير جداً. على أية حال، في التطبيقات الصناعيةِ، مقاس الرفِّ المُتَبَنّى عموماً هو ١٩ "، ومن الواضح أن مقاسات البطاقة الإلكترونيةِ المطبوعةِ يَجِبُ أَنْ تتبع هذا المعيارِ. تَسْمحُ مقاسات اللوح القياسية لتبادلِ البطاقاتِ cards والإنتاجِ للمدى القياسي مِنْ الألواحِ النموذجيةِ الفارغةِ blank prototyping boards وإطاراتِ frames وتركيباتِ fittings ووحداتِ modules لتغليف الأنظمةِ. مقاسات لوح الدائرة المطبوعة PCB القياسية إقترحتْ من قبل منظماتِ مختلفةِ. على سبيل المثال، معايير DIN (منظمة معاييرِ ألمانيةِ) وهى تتمتع بقبول على نحو واسع، خصوصاً في البلدان الأوروبيةِ.

هناك عِدّة عوامل تُؤثّرُ على إختيارِ مقاس اللوح وشكّلُه ولذا، الإختيار النهائي من المحتمل أن يكون ناتج مساومة بين العوامل المتَضَارُبة.

٣-٢-١-٦ الأبعاد والتفاوت

Dimensions and Tolerance:

كُلّ خطوط اللوح العامّة board outlines يجب أنْ تكون معبرة وتشمل بَعْض التَفاوت. التفاوت المقرر بشكل عام هو +٠.٢٥ و+٠.٥٠ مليمتر. يعتبر التفاوت مهمُ لأن حِساب مساحة تشغيل اللوح الفعليةِ إلى مقاسها الاصغر هو الهدف.

يعتبر التفاوت مهمُ جداً في الموصلات / المسارات على الألواحِ الكثيفةِ جداً، حيث يسير المسار في مدى ١ مليمتر من حافة اللوح. التَفاوت يُمكنُ أَنْ يَكُونَ هامَّ لأنه في هذه الحالةِ، يُمْكِنُ أَنْ يَجيءَ المسار (trace/track) ب٠.٥٠ مليمترِ مِنْ حافةِ اللوح حيث تكون ممارسة التصميمِ سيّئةِ. المسارات يُمْكِنُ أَنْ تكُونُ متضرّرة عندما يتم قطع الحدود العامة للوح.

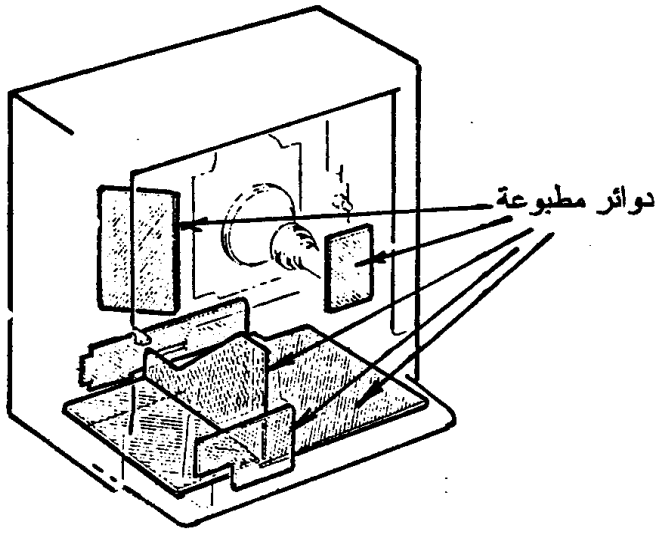
نحتاج التفاوتات البعدية لتَخفيض تكلفة التصنيع. وهى تقليد معروف لمعالجة عدد مِنْ الألواحِ الأصغرِ على لوح تشغيل panel أكبر وبعد ذلك يتم فصلها في الخطواتِ الأخيرةِ من دورة التصنيع. هذه الممارسةِ يُمْكِنُ أيضاً أَنْ تُستَعملَ في صناعةِ الألواحِ متعددةِ الطبقات. إذا كانت التفاوتات متسعة، فإن ألواح تشغيل أكبرَ مع الدوائرِ الفرديةِ الأكثر صغراً يُمكنُ أَنْ تَكُونَ مصنّعةَ بدون أيّ صعوبة. هذا يُؤدّي إلى تخفيض كبير في تكلفةِ التصنيع.

الابعاد النهائية للوح المشطب تُؤثّرُ على تكلفةِ اللوح. يجب أنْ يُسْمَحَ بهامش مقداره ٢٥ مليمتر حول المقاس النهائي للوح لإسْكان فتحاتِ التشغيل tooling. يَجِبُ أَنْ يَكُونَ المقاس النهائي للوح محدد لكي يمكن الحصول على انتاجية جيدة لألواح المادة الاساسية ذات القشرة النحاسية والمقاس القياسي المتوفر عادة هو المقاس ٢٤ × ٣٦ بوصة ضعفِ القدمِ الواحد. مثل هذا التصميمِ يُؤدّي إلى نفايات أقلِ وخفّضُ التكلفةً.

٣-٢-١-٧ التقسيم أو التجزئة

Partitioning:

تَقليل العددِ الكليِّ للتوصيلات البينية interconnections يُمْكِنُ أَنْ يُساعدَ في تَقْرير مقاس اللوح. هذا يَتطلّبُ العمل المتعقّل لتَقسيم أو لتجزئة الجهاز بطرق مختلفة بحيث يُمْكِنُ أَنْ يُؤدّي إلى أعدادِ مختلفةِ جداً من التوصيلات البينية interconnections. عموماً بفحص الرسم الصندوقي للدائرةِ يُمكننا تَقْرير النقاطِ التي عندها يُمْكِنُ أَنْ يُقسّمَ الجهاز لِكي يَكْسرَ العددَ الأصغرَ للتوصيلات التي قَدْ تقرّرُ المقاس PCB ، الشكلان ارقام (٣-١٤و١٥) يوضحان نماذج التقسيم في الاجهزة الالكترونية .

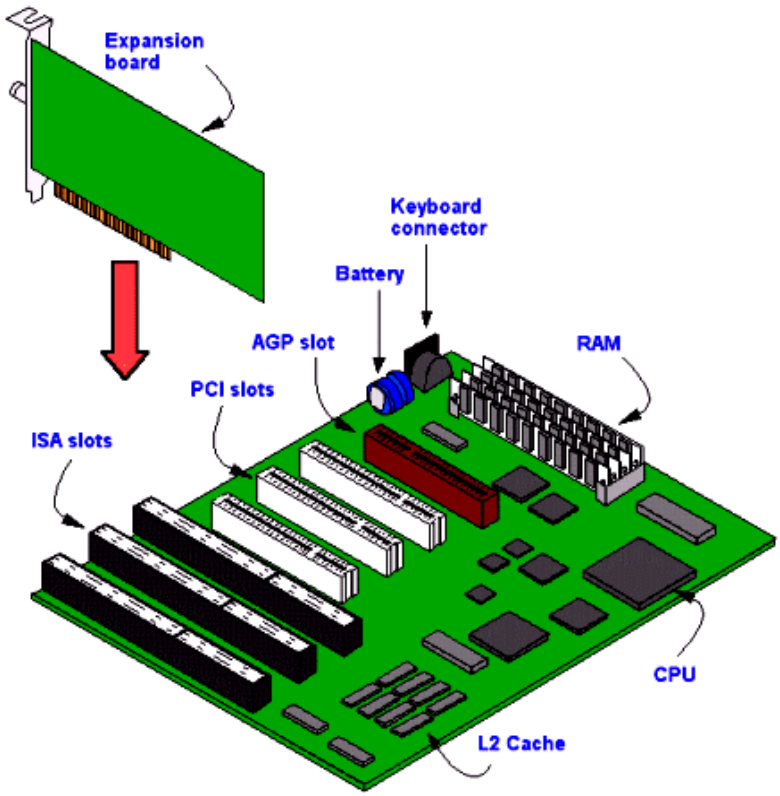


شكل (٣-١٤) يوضح كيف أن جهاز التليفزيون يتكون من عديد من الدوائر المطبوعة

القرار بخصوص تحدّيدُ مكان العناصر في لوح واحد أَو أكثر مِنْ لوح واحد هو وظيفة شكل الحجمِ المتاح ، وتعديل modularity بَعْض الاجزاء ومتطلبات الصيانةَ. بالرغم من أن حَلّ استخدام اللوح الوحيدِ عادة يكون أكثرُ إقتصاداً كتوفير بدلالة ألواح الدائرة المطبوعة الكلية المطلوبة، رغم ذلك ألا أن هناك بَعْض الفوائدِ في تَقسيم اللوح إلى لوحين أَو أكثر. وهذه الفوائد هى : السهولة في تصميم الشكل العملي Layout والإختبار والصناعةِ والصيانةِ.

على الرغم مِنْ هذه الفوائدِ، فإن تعقيدات الدائرةِ الرقميةِ الحديثةِ تُؤدّي إلى ألواحِ أكبرِ بشكل متزايد، خصوصاً للألواحِ المحترفةِ professional boards، متضمنة الألواحِ متعددةِ الطبقات.

قبل سَنَوات قَليلة، الالواح المحترفة ذات الفتحات الخلالية المطلية PTH كَانَ لديها أبعادُ قصوى حوالي ٢٠٠ × ٢٥٠ مليمتر بينما الآن نجد أن ألواح بمقاسِ ٤٠٠ × ٥٠٠ مليمتر شائعة جداً. وهذه أَصْبَحتْ ممكنة بشكل جزئي مع ظهور ماكينات CNC (computerized numerically controlled)-(بشكل رئيسي لتثقيب PCB وإدخال العنصر)، الذي يُزوّدُ بدقةَ وضع عاليةَ جداً (٢٥ ميكرون) على منطقةِ كبيرة بمقاس ٦١٠ × ٦١٠ مليمتر.



شكل (٣-١٥) يوضح كيف أن اللوح الأم في الحاسب يتكون من عديد من الدوائر المطبوعة

مِنْ النقاطِ السابقة، يتضح أنّ مقاس اللوح حتماً يَجِبُ أَنْ يَكُونَ على درجة عالية من النقاش والدراسة، مالم يكن اللوح سَيَتُلائمُ إلى مضمّن أو إطار سبق تحديده. في هذه الحالة نجد أن المقاس ليس مهم جداً، وفقط السؤال يجب أن ينصب على كثافة التغليف ونوعِ المقابس المستخدمتان لضَرُورة الحْلّ.

٣-٢-٢ أساليب تثبيت اللوح

Board Mounting Techniques:

الاساليب الفنية المُخْتَلِفة متوفرة لتثبيت البطاقة الإلكترونيةِ المطبوعةِ إلى الهيكلِ أَو إلى التجميع التالي. لتحقيق الإستقرارِ الميكانيكي الجيدِ، يجب أن يدعم اللوح ضمن ٢٥ مليمترِ من حافة اللوح على الأقل على ثلاثة جوانبِ. كممارسة عامّة، الألواح بسمك بين ٠.٠٣١ و ٠.٠٦٢ بوصةِ

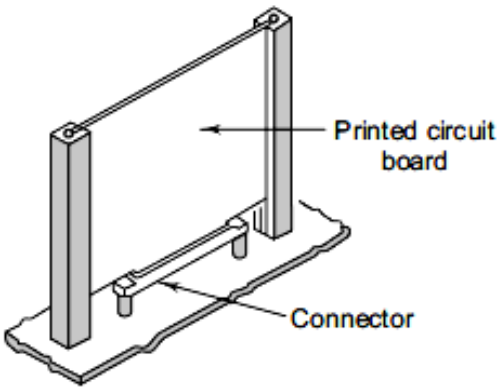
(٠.٧٨٥ و١.٥٧ مليمتر) يَجِبُ أَنْ تدْعَمَ ميكانيكياً على مراحل مقدارها على الأقل ١٠ سنتيمترِ.
إختيار اسلوب تثبيت اللوح يعتمدُ على العواملِ التاليةِ:

١. مقاس وشكل اللوح
٢. أطراف المدخل / المخرج
٣. متطلبات إزالةِ اللوح
٤. متطلبات تسريب أو تبديد الحرارةِ
٥. الحِماية أو التحجيب المطلوب
٦. نوع تثبيت hardware
٧. الفراغ المتوفر للأجهزةِ و
٨. نوع الدائرةِ وعلاقتِها بالدوائرِ الأخرى.

٣-٢-٣ توجيه اللوح والحفظ

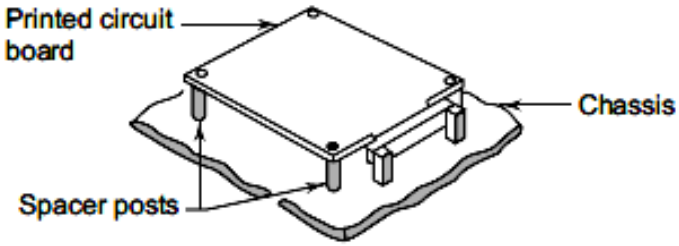
Board Guiding and Retaining:

الطريقةَ الأكثر سهولةً للإستعمالِ مع تجميعات الدائرة المطبوعة ذات البلج هى أدلة البطاقةِ card guides . حيث تعطي المقدرة على التوصيل/عدم التوصيل السريع مع الراحةِ لإختبار اللوح خارج الوحداتِ بواسطة البطاقاتِ الممدّدِة extender cards. يَعتمدُ نوعُ دليلِ البطاقةِ على شكلِ اللوح ودرجةِ الدقةِ المطلوبة لضمان إصطفافِ التزاوج (التركيب) الصحيح. البعض مِنْ أدلة البطاقةِ المستعملةِ عموماً موضحة في الشكل رقمِ (٣-١٦). لابدّ أن يكون هناك مساحة كافية للسَماح لإحتواء دليلِ البطاقةَ على طول حافةِ اللوح.

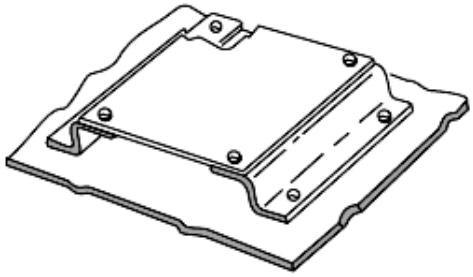


شكل (a) يوضح التثبيت بالأعمدة المحفورة والمشابك الزاوية.

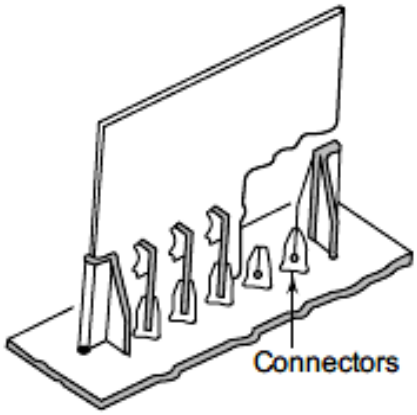
تستخدم الاعمدة المحفورة كدليل ينزل فيه اللوح للإرتباط مع المقبس، ثم يقوم المشبك بالإحتفاظ بالوضع



شكل (b) يوضح التثبيت على أعمدة مباعدة تربط بالقلاووظ. أى مقاس من الألوح يمكن تثبيته بهذه الطريقة حيث تعتبر سهلة. وهى تستخدم لتثبيت اللوح على جدران أو قاع الكابينة.



شكل (c) يوضح التثبيت بأدآة تثبيت ميكانيكية على شكل حرف Z .

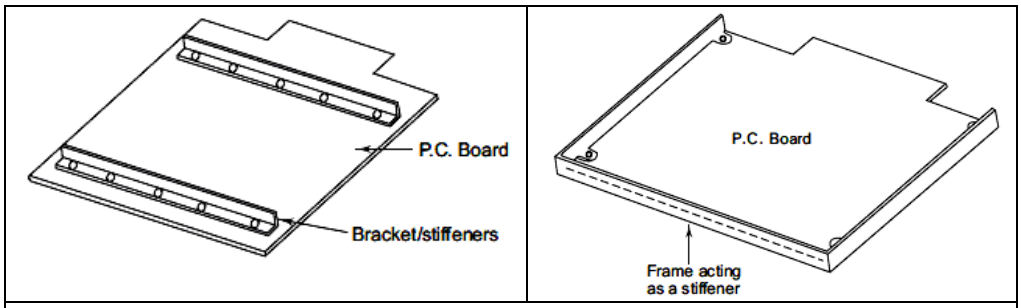


شكل (d) يوضح التثبيت بأدلة دعم شريحة معدنية. وهى طريقة تمتاز بسرعة الرفع والتبديل للوح

شكل رقم (٣-١٦) يوضح طرق تثبيت اللوح المطبوع باستخدام أدلة اللوح.

إذا كانت وصلةِ المواجهة interface الكهربائيةِ لا تَتطلّبُ مقبس connector أَو أن دليل البطاقةِ لَيسَ عمليَ، من ثمّ فإن فتحات التثبيت mounting holes قَدْ تُزوّدُ على اللوح لكي يُمْكِنُ أَنْ تُركّبَ بالمسامير القلاووظ، أو stand-offs أَو صواميل ميكانيكية أخرى. على أية حال، يَجِبُ أَنْ يكون هناك الخلوص الكافي لكي لا تتداخل عناصر أَو موصلات. الخلوص الكافي (مقداره من ١.٥ إلى ٢.٥ مليمترِ) يجب أنْ يُزوّدَ لكُلّ الأدلّة، والأسلاك، و hardware، .. الخ.، لضمان أن تلك الأدلّةِ البارزةِ خلال الجانبِ الخالي من العناصر للبطاقة الإلكترونيةِ المطبوعةِ لا تصبح متداخلة short-out مع اللوح المجاور. الخلوص الإضافي مطلوب في حالة الألواحِ الكبيرةِ أَو السميكةِ جداً لضمان المرونة للوح تحت الإهتزازِ والصدمةِ لا يُسبّبا قصر الأدلّةَ إلى الخارج.

الأعواد الداعمة Stiffners مستعملة على ألواحِ PC لضمان بقاء اللوح مستوياً تحت الإجهادِ الميكانيكيِ. تثبيت الألواحُ على إطار أَو إستعمال الاعواد الداعمة stiffeners يُمْكِنُ أَنْ يُزيلا هذه المشكلةِ. هذه العناصر أيضاً تتجنب الالتواء warpage الذي قَدْ يُطوّرُ في اللوح مِنْ اللحام الموجي أَو الانسيابي. الشكل (٣-١٧) يوضح أنواع الاعواد الداعمة stiffeners المستعملة عموماً.



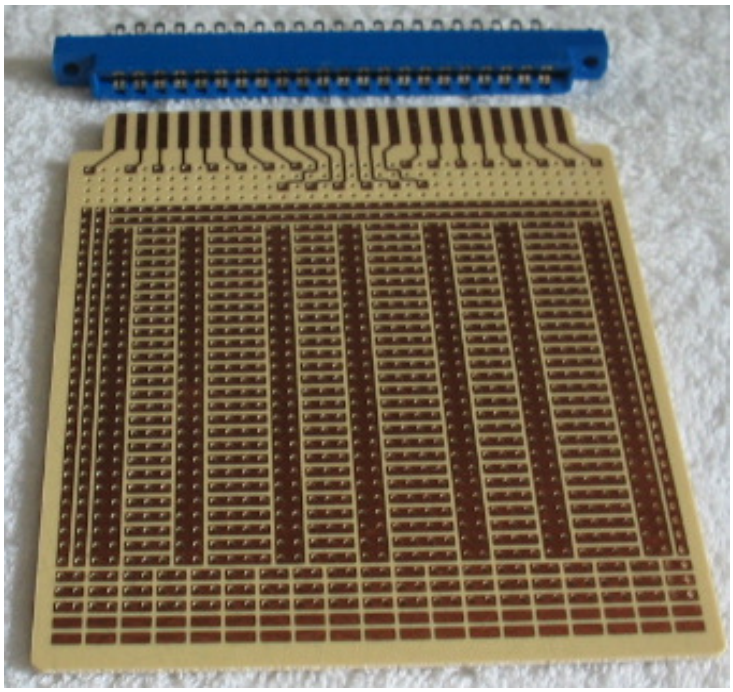
شكل رقم (٣-١٧) يوضح استخدام أدوات الدعم الميكانيكية لتثبيت ألواح الدوائر المطبوعة.

٣-٢-٤ أطراف الدخل/الخرج للوح

Input/Output Terminations:

الطريقة الأكثر شيوعاً مِنْ تَزويد وصلةِ المواجهة interface الكهربائيةِ بين لوح الدائرة المطبوعة PCB والأجهزة المرافقة هى بإستعمالِ المقابس connectors والأطراف terminals والكوابل cables. نوع وصلةِ المواجهة interface الّتي سَتستَعملُ لأيّ لوح معيّن يتم تحديدها عموماً أثناء التصميمِ الميكانيكيِ للأجهزةِ. وصلةِ المواجهة interface المستعملة والأكثر شيوعاً تَشْملُ المقابس

connectors التي تكون متوفرة في أنواعٍ عديدةٍ. مقابس الدائرة المطبوعة أحادية الجزء Single part PCB connectors (one piece PCB connector) هى النوع الاكثر شيوعاً الذي فيه نِصْف واحد يستعمل حافةِ واحدة من البطاقة الإلكترونية المطبوعة كابلج plug الذي فيه الموصلات عبارة عن أشرطة مطبوعة أو مطلية تعمل كتماسات للمقبس. النصف الآخرُ مِنْ مقبس لوح الدائرة المطبوعة أحادي الجزء يكون عادة عبارة عن تجميع لنقاط تماس متزاوجة في مأخذ مصبوب من البلاستيك، الشكل رقم (٣-١٨).



شكل رقم (٣-١٨) يوضح مقابس الدائرة المطبوعة أحادية الجزء

المقابس المزدوجة الجزء Double part contactors (قطعتان tow pieces) تصْنعُ من ذكرِ التماس المتعدّدِ ذاتي الاحتواء (بلج plug) وتجميعات أنثوية female assemblies (receptacle). عادة الجزء الأول الذكر يكون مثبت على البطاقة الإلكترونيةِ المطبوعةِ والجزء

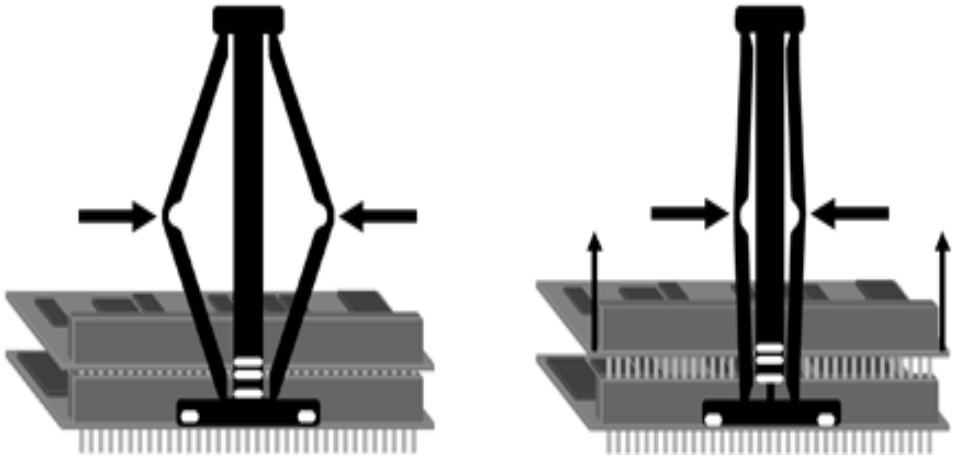
الأنثوى إفترقْ إلى اللوح المطلوب التوصيل إليه مثل لوح الذاكرة الام motherboard أَو اللوح الخلفي back plate .

مقابس الجزءِ الاحادي أو المزدوج عادة لها عدد محدود مِنْ التماسات contacts ويُمْكِنُ أَنْ تثبت عموماً عند الحافاتِ بشكل خاص بإتّجاهاتِ معينة. هذه التقييداتِ يُمْكِنُها التَغَلُّب عليها بإستعمالِ المقابس المنفصلة.

٣-٢-٥ إنتزاع او استخراج اللوح

Board Extraction:

عدد مِنْ الاساليب الفنية استَعملُ لإنْجاز إنتزاعِ اللوح المطبوعِ، حيث يُؤدّي إلى تطوير العديد مِنْ أنواعِ أدوات الإنتِزاع extracting tools. إنّ المتطلبَ الأساسيَ من هذه الأدواتِ هو بأنها يَجِبُ إستعمال حَدّ أدنى مِنْ فضاءِ اللوح، بذلك يُزيّدُ حجم اللوح المتوفر للعناصر وأيضاً يَجِبُ أَنْ لا يُلحقَ أيّ أضرار إلى اللوح والعناصر والمقابس. الأنواع المستعملة والاكثر شيوعاً من أدوات النزع للوح هى نوعَ خطّافِ hook وفتحةِ إصبعِ finger hole وشريط سحبِ pull tab ، الشكل رقم (٣-١٩).



شكل رقم (٣-١٩) يوضح أداة انتزاع اللوح المطبوع من الاطار الرئيسي لجهاز إلكتروني.

٣-٢-٦ إختبار وخدمة اللوح

Testing and Servicing:

إعتِماداً على تعقيدِ المُنتَجَ، وجودة العناصر القادمة وعملية التصنيع، هناك إمكانية عدم اشتغال عدد معيّن من الألواحِ المُجمّعةِ النهائية. لذا، فإن تصميم اللوح يَجِبُ أَنْ يَؤخذَ بعين الإعتبار سهولة ويسر إجراء أَيّ إختبارِ وجَعْل مثل هذا الإختبار بسيط بقدر الإمكان.

تفضل الألواح الأصغر لإنْجاز إختبار كفوءِ وتصليحِ ألواح الدوائر المطبوعة. بينما في حالة الألواحِ الكبيرةِ، يصبحُ عزل الأجزاءِ المعيوبةِ صعب لأنها عادة لَيستْ محتملَة لإحداث اضطراب أَو تَأثير على تدفقِ الإشارة الكهربائية. إذا كانت الدائرةِ الكاملةِ مُدرَكةُ على البطاقاتِ الأصغرِ المختلفةِ، فإنه من السهلُ عَزْل البطاقةِ المعيوبةِ، وإصلاحُها أَو إبدالها بنفس البطاقة مع بطاقة عاملة. الفائدة الأخرى في شق الدائرة الكهربائية إلى وحداتِ ثانويةِ على ألواحِ مختلفةِ هو إمكانيةُ إسْتِعْمال الوحدات الثانوية subunits الشائعة مثل دائرة تغذية القدرة الكهربائيةِ للأجهزةِ الأخرى، إذا كان هذا هو المصمم.

٣-٢-٧ الإجهاد الميكانيكي

Mechanical Stress:

الألواح المطبوعة الصغيرة نِسْبياً مَع مقاس أقل مِنْ ١٠٠ ×١٥٠ مليمتر والسُمك القياسي ١.٦ المليمتر لا يتأثر بأيّ مشكلة من جراء تطبيق القوّةِ الميكانيكيةِ نتيجة لتجميع العناصر الإلكترونيةِ العاديةِ. العناية مطلوبةُ فقط مع مقاسات اللوح الأكبرِ أَو الالواح المدعومة الأنحف أَو إذا كانت هناك أجزاءِ ثقيلةِ مثل المحولات يَجِبُ أَنْ تُثبت على اللوح. كتوجيه عامّ، الأجزاء الثقيلة يَجِبُ أَنْ تُثبت قُرْب العنصر المساند مثل دليل البطاقةِ guide board، أو مقبس connector أَو العود الداعم stiffener.

٣-٢-٨ سُمك اللوح

Board Thickness:

ليس هناك معيار يَحْكمُ السُمكِ الامثل لا للوح توزيع الأسلاك المطبوعِة ولا لعددِ الطبقاتِ الموصّلةَ في اللوح متعدد الطبقات. من حينٍ لآخر، العامل المُحدّد لسُمكِ لوح توزيع الأسلاك المطبوعِة هو قطر الفتحةِ الأصغرِ، خصوصاً عندما تكون الفتحات مَطْلية من الداخل.

سُمك اللوح النهائي سَيَعتمدُ على عددِ طبقات التوصيل وعلى متطلبات المباعدة من طبقة لطبقة كهربائية من التصميم. في الألواحِ المتعددةِ الطبقات، نجد أن الزيادة في التكلفةِ لا تتناسب مباشرة مع الزيادةِ في عددِ الطبقاتِ الموصلة. على سبيل المثال، مضاعفة عدد الطبقاتِ مِنْ أربعة لثمانية من المحتمل سَيَزِيدُ التكلفةَ بواسطة ٣٠ بالمائة فقط. على أية حال، إذا كان عدد الطبقاتِ الموصلة يَتجاوزُ ١٠، فإن تُكلّفُة الطبقةَ الإضافيةَ تزداد بمعدل سريع.

أبعاد سمك الالواح المطبوعة المختلفة يُمْكِنُ أَنْ تتفاوتَ مِنْ ٠.٥٠ إلى ٦.٥ مليمترِ، لكن أغلب الألواحِ الصلبة rigid لَها سُمكُ ١.٥ مليمترِ.

٣-٢-٩ المواصفات والمعايير العامة

Important Specifications and Standards:

مبادئ وتوصيات التصميمِ يجب أنْ يستَعملا بالإرتباط مع المتطلباتَ المُفصّلةَ لمعيار التوصيل البيني المعيّنِ. المعيار " ANSI/IPC 2221 Generic design " يُعرف مبادئ التصميمِ الطبيعيةِ العامةِ بالإضافة إلى الإختيارِ المادي. إضافةً إلى هذا، متطلبات الأداء للألواحِ المطبوعةِ الصلبة rigid المنتجة تم توصيفها IPC-6012 .

فَهْم مبادئِ التصميمِ الملائمةِ التي تخاطبُ مقدرة التصنيع manufacturability وثيق الصلة، والإختبار وقضايا الجودة يجب أنْ تُطبّقَ أثناء عمليةِ التصميمَ. مصمم لوح الدائرة المطبوعة الحديث يَجِبُ أَنْ يَعْرفُ / يَفْهمُ عمليات التجميع والتصنيع للبطاقات الإلكترونيةِ المطبوعةِ.

٣-٣ الإعتبارات الكهربائية للتصميمِ

Electrical Design Considerations:

٣-٣-١ أبعاد الموصل

Conductor Dimensions:

عُموماً، عرض الموصل مُحدَّدُ بواسطة:

- كثافة تغليف العنصر؛

- المباعدة الدنيا بين الموصلات والعناصر؛ و
- القيود الهندسية بسبب الخطوط العامّةِ outline للعنصر.

في الأوقاتِ السابقةِ، سعة موصلات لوح الدائرة المطبوعة PCB لحمل التيار تم تجاهلها في أغلب الأحيان لأن أبعاد الموصل كَانتْ عادة أكبر كثيراً مِنْ المطلوبِ لحَمْل التياراتِ المتَضمّنَة. على أية حال، بالكثافةِ العالية للتغليف والإعتباراتِ الحراريةِ، عرض الموصل يَجِبُ أَنْ يَكُونَ مُحدَّد أَو على الاقل مفحوص طبقاً لسعة حمل التيارِ المطلوبِ.

في أغلب الدوائر الإلكترونية، تتدفق عادة تيارات صغيرة نِسْبياً خلال مقاومة موصل يُمْكِنُ أَنْ تَكُونَ مُهمَلة عملياً. على أية حال، عندما نَتعاملُ مع خطوط التغذية والأرضِ، خصوصاً في حالة الإشاراتِ عالية السرعة وفي بَعْض الحالاتِ، نجد أن مجموعة دوائر رقمية، بموصلات أوسع كثيراً عنْ الضروري بشكل أومي ohmically يَجِبُ أَنْ تزود بين خطوط التغذية والأرضي. لذا، من الضروريُ فَهْم العواملِ التي تحْكمُ عملية إختيارَ عرض الموصل الملائمِ التي تحدد سعتها لحمل التيارَ. من الواضح، أن المقاومة الاومية للموصل قَدْ تكُون مشكلةً متى كانت الممرات الموصّلةَ طويلة جداً بشكل غير عادي أَو متى كان تنظيم الجهد حرج.

٣-٣-٢ المقاومة Resistance:

المسارات النحاسية المطبوعة على لوح الدائرة المطبوعة PCB لَها مقاومة محدودة تعمل على اسقاط جهدي يتناسب مع التيارِ المُتَدفِّقِ خلالها. مقاومةَ الموصل التي لها شكل قطاع معدني سَيكونُ لديها مقطع عرضي على شكل مستطيل يَعتمدُ على المقاومة النوعيةِ المعيّنةِ للنحاسِ، التي تساوي ١.٧٢٤ ×١٠$^{-٦}$ سنتيمتر أومِ عند درجة حرارة ٢٠ C°. سيكون أمراً مفيداً معْرِفة مقاومةِ موصل نحاسي عريض ١ ميلليمتر لكلّ سنتيمترِ مِنْ الطولِ. ورق النحاس الرقيق copper foil القياسي بسمك ٣٥ ميكرون (بدون أيّ تصفيح/طلاء) قَدْ يفتَرضُ.

$R = \rho L/A$ ohms

ρ = resistivity (ohms cm x 10^{-6})

L = conductor length (cm)

A = area of cross-section of the conductor (cm^2)

ρ (copper) = 1.724×10^{-6} (at 20° C)

L = 1 cm

A = $35 \times 10^{-4} \times 0.1$ cm^2

R = $1.724 \times 10^{-6} \times 1$

by $35 \times 10^{-4} \times 0.1$

= 0.0049 ohms

= 0.005 ohms = 5 m ohms

هذا يوضح أن مقاومة موصل عرضه ١ مليمتر وطولِ مقداره ١ سنتيمترِ من ورقِ نحاسيٍ رقيق قياسيٍ بسمك ٣٥ مليمترِ هى ٥ ميللي أوم. بنفس الطريقة، موصل بعرض ٠.٥ مليمترِ بطول مقداره ١٠ سنتيمترِ سَيكونُ لديه مقاومة مقدارها ٥ × ١٠ × ٢ = ١٠٠ ميللي أوم، حيث نِصْفِ عرض الموصل، يَعطي الضِعف كمقاومة عالية. يمكن ملاحظة أن معامل المقاومة النوعيةَ للمادّةِ صحيحُ عند درجة حرارة ٢٠ سنتيجراد وهو سَيَرتفعُ مع ارتفاع درجةِ الحرارة.

الجدول رقم ٣-٢ يوضح المقاومة النوعيةَ لبعض المواد المستخدمة في أغلب الأحيان في الإلكترونياتِ.

المقاومة النوعية ρ للنحاسِ يُمْكِنُ أن تكون مفروضة بالقيمة:

ρ = 1.78×10^{-6} ohm-cm for a temperature at 25 °C

جدول رقم (٣-٢) يوضح المقاومة النوعية لبعض المواد الشائعة:

Material	$\rho/\Omega mm^2 cm^{-1}$	Material	$\rho/\Omega mm^2 cm^{-1}$
Silver	1.6	Nickel	43
Copper	1.8	Glass	5×10^{19}
Aluminium	3.0	Quartz	10^{23}

المقاومة (عند درجة حرارة مقدارها ٢٥ سنتيجراد) للموصل النحاسي مع عرض موصل مقداره ٠.٣ مليمترٍ وسمك نحاس مقداره ٣٥ ميكرون وطول مقداره ٥٠٠ مليمتر، سَتساوي:

$R = 17.8 \times 10^{-3} \times \text{Length} / A$

with R in Ohms

Length and width in mm

Thickness in microns

$R = 17.8 \times 500 / 0.3 \times 35 \times 1000$

$= 17.8/0.3 \times 35 \times 2$

$= 0.85$ Ohm

معروف أنّه عندما يتدفقَ التيار خلال الموصل، تزداد درجة حرارته بسبب تأثير جولِjoule effect . تزداد مقاومةُ النحاس بزيادة درجةِ الحرارة. هكذا، كُلّ قِيَم المقاومةِ عند درجة حرارة ٢٠ سنتيجراد يَجِبُ أَنْ تراجعَ بالنسبة إلى الزيادةِ المحتملةِ في درجةِ الحرارة خلال الموصل بسبب تأثيرِ جولَ joule effect أَو لأيّ تسخين سببها العناصر. إختلاف درجةَ الحرارة خلال الأجهزة الإلكترونية ودرجةِ حرارة التشغيل operating temperature ربما يَكُونا بارتفاع درجة حرارة مقدارها ٦٠ سنتيجراد أَو أكثر. هذا يزيد مقاومةُ الموصل بشكل ملحوظ ويجب أنْ يؤخذ في الحسبان عند التصميمِ. وهو معروفُ أن :

$R_t = R_o [1 + \alpha (T_1 - T_o)]$

R_t = resistance at temperature T_1

R_o= resistance at temperature T_o

α = temperature coefficient of conductivity

لتَوضيح هذا، دعنا نَفترضُ بأنّ درجةِ الحرارة الداخلية في الأجهزةِ الكهربائيةِ ٨٠ سنتيجراد بينما درجةِ الحرارة الخارجية هى ٢٠ سنتيجراد. بأَخْذ معاملِ درجةِ الحرارةtemperature coefficient لتوصيلية النحاس copper conductivity كـ +٠.٠٠٣٩، فإن المقاومة للموصل ٠.٥ مليمترٍ، ذو الطول ١٠ سنتيمتر (بمقاومة مقدارها ١٠٠ أومِ)، سَتَكُونُ:

$R_t = 100 [1 + 0.0039 (80 - 20)]$

$= 100 [1 + 0.0039 \times 60] = 123.4$ m ohm

هذا يوضح أنّ المقاومةَ زادتْ بمقدار ٢٣.٤ بالمائة بفعل فرق درجتى الحرارة.

كُلّ الموصلات التي تحْمل تيارَ سَتكُونُ عند درجة حرارة أعلى مِنْ إرتفاعِ درجةِ الحرارة التي تعتمدُ على التيارِ المحَمولَ، وعرض الموصل وسُمكِ النحاس.

بأَخْذ سُمكِ الموصل النحاسي، ودرجة حرارة التشغيل ومتطلب حَمْل التيارِ، فإن الشكل يَعطي بَعْض التوجيهِ من أجل إخْتيارَ عرضِ الموصل الملائمِ. يمكن أن يُستَعملَ هذا لإيجاد اتساع (قيمة) التيارِ المحمول لموصل مُعطى أَو لتَقْرير أَيّ عرضِ للموصل مطلوبُ لحَمْل التيار المعطىَ. في الحالتين، الإرتفاع الأقصى لدرجةِ الحرارة يَجِبُ أَنْ يَكُونَ مُؤَسَّس. إنّ القِيَمَ التي أَخذتْ عادة ٤٠ سنتيجراد (٧٢ فهرنهيت) للأجهزةِ المبرّدةِ بالهواء إجبارياً و١٠أو١٥ سنتيجراد (١٨ أو ٢٧ فهرنهيت) للأجهزةِ التي ليس فيها دفع هواء إجباريَ مستعملُ (الشكل رقم ٣-٢٠).

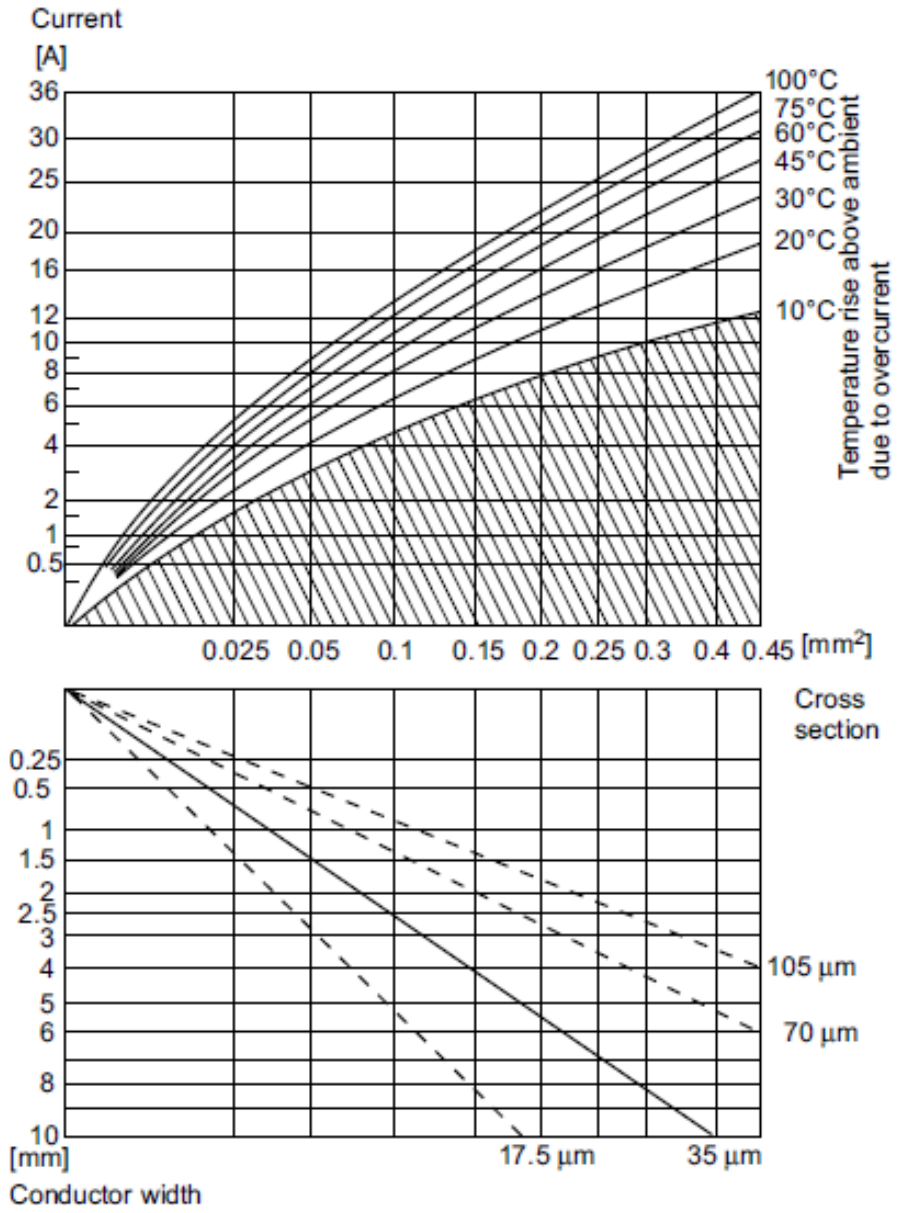
لتَوضيح، إذا كانت الموصلات ذات العرض الأدنى ستحدد، لحَمْل تيار مقداره ٨ أمبيرِ على لوح بقشرة سمكها ٣٥ مليمترِ عند درجة حرارة مقدارها ٣٠ ° تَرتفعُ فوق درجة حرارة الغرفة (الملازمة)، ينبثق كالتّالي:

i) ابحث عن ٨ أمبيرَ في قمة المِقياسِ الأيسرِ.

ii) تابع عند المقدار ٨ خَطَّ الأمبيرَ ليتقاطع مع الخط البياني لدرجة الحرارة ٣٠ سنتيجراد .

iii) تابع الخَطّ العمودي مِنْ تلك النقطةِ لأسفل ليتقاطع مع الخط البياني للنحاس ذو السمك ٣٥ مليمترَ .

iv) اسحب خَطّ أفقي إلى اليسارِ مِنْ ذلك التقاطعِ لإيجاد أدنى عرض للموصل الذي، في هذه الحالةِ، يساوي ٢.٥ مليمترُ.



شكل رقم (٣-٢٠) يوضح أبعاد مختلفة لعرض الموصل لدرجات حرارة التشغيل الآمن أقصى قيمة للتيار المحمول موصّى بها للمسارات موضحة في الجدول رقم (٣-٣).

في كُلّ الحالاتِ الحرجةِ، مساحة القطاع العرضي مِنْ المسارِ track يَجِبُ أَنْ تُحْسَبَ بإستعمال أسوأ حالة للقيم. على أية حال، تفاوتات التصنيع لعرضِ موصل لوح الدائرة المطبوعة PCB يُمكنُ أَنْ يكُونَ بارتفاع ٣٠ بالمائة إذا كان العرضِ أقل مِنْ ٠.٥ مليمترِ، وبارتفاع ٢٠ بالمائة إذا كان العرضِ بين ٠.٥ و ١.٠ مليمترِ وبارتفاع ١٠ بالمائة إذا كان العرضِ أكثر مِنْ ١.٠ مليمتر.

لتَحديد مقاومةِ الموصل، هناك رسم النوموجراف nomograph الموضح في الشكل رقمِ ٣-٢١ يُمْكِنك استَعماله. بواسطة ضبط عرضِ الموصل (الخط اليسار) وسمك الورق النحاسي thickeners (الخَطّ المركزي)، فإن مقاومة طول وحدةِ المقاومةِ يُمْكِنُ أَنْ يحدد على الخَطِّ اليمين. بالمقابل، إذا كانت مقاومةِ الموصل لكلّ وحدة طول معروفة،فإنه يمكن استخدام رسم النوموجراف nomograph للحُصُول على عرضَ الموصل لسمك معلوم من ورقِ النحاس الرقيق. بنفس الطريقة، سُمك الورق النحاسي المطلوبِ يُمْكِنُ أَنْ يُعْرَفَ لعرض موصل معلوم.

جدول رقم (٣-٣) يوضح سعة حمل التيار الموصي به للمسارات :

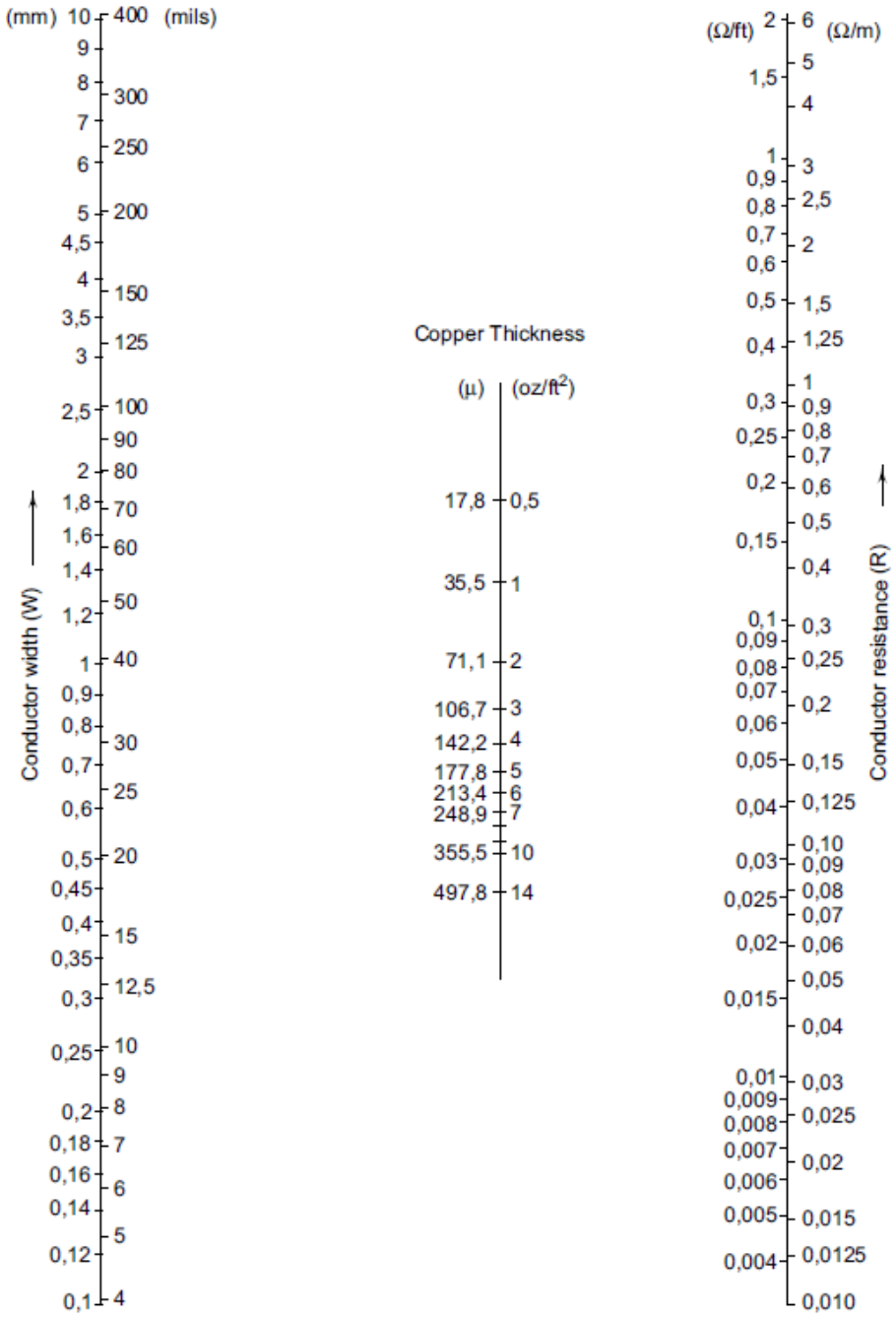
Conductor width (in)	Current (Amps)			
	½ oz	1 oz	2 oz	3oz
0.005	0.13	0.50	0.70	1.00
0.010	0.50	0.80	1.40	1.90
0.020	0.70	1.40	2.20	3.00
0.030	1.00	1.90	3.00	4.00
0.050	1.50	2.50	4.00	5.50
0.070	2.00	3.50	5.00	7.00
0.100	2.50	4.00	7.00	9.00
0.150	3.50	5.50	9.00	13.00
0.200	4.00	6.00	11.00	14.00

**For conversion from inches to millimeters: 1 inch = 25.3994 mm.*

٣-٣-٣ إعتبارات السعةِ

Capacitance Considerations:

تعتبر السعة بارامتر على درجة كبيرة من الأهمية، خصوصاً عند تصميمِ ألواح الدوائر المطبوعة PCBs في حيز الترددات العالية. تَلْعبُ السعةُ دور كما في الحالتين التاليتين:



شكل رقم (٣-٢١) يوضح نوموجراف لتحديد مقاومة موصل لوح الدائرة المطبوعة كدالة لعرض الموصل وسمك النحاس. كل التدريجات الموضحة لوغاريتمية.

- السعة بين الموصلات على الجانبين المتقابلين للوح المطبوع PCB ثنائي الجانب و
- السعة بين الموصلات المتجاورة في الطبقة الواحدة.

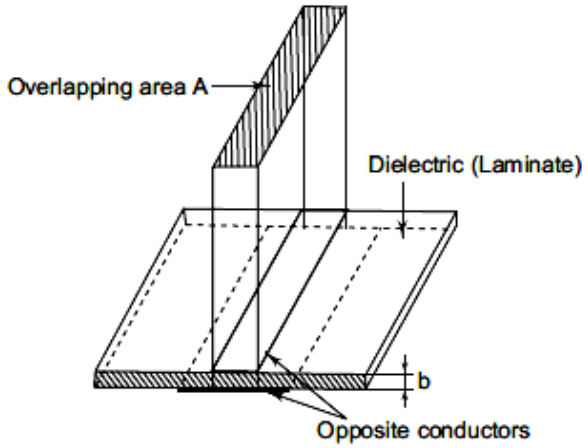
السعة بين موصلين موجودين على جانبين متقابلين للوح المطبوع PCB : إثنان من موصلات اللوح PCB يَقعان الواحد فوق الآخرِ (الشكل رقم ٣-٢٢) ومنفصلين بواسطة عازل (لوح مدعوم laminate) يشكلان مكثّف حيث يمكننا حساب سعته من صيغة المكثف التالية :

$C = 0.886 \times \varepsilon \times A/b$ (pF)

A = total overlapping area (cm^2)

b = thickness of dielectric (mm)

ε = relative dielectric constant, whose value is normally available from the manufacturer's of the PCB laminates

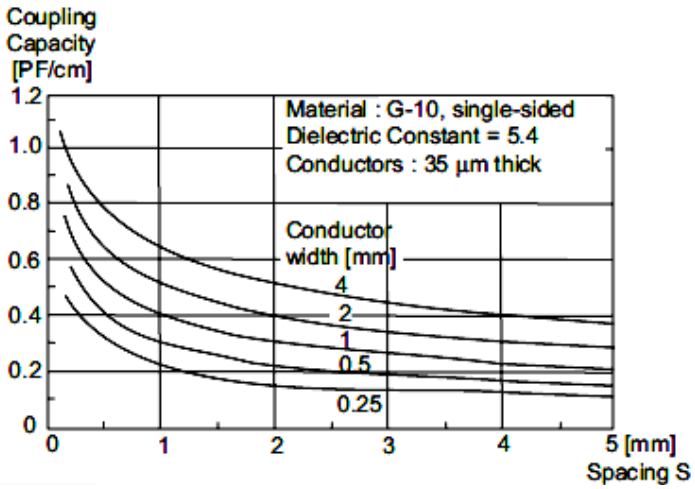


شكل رقم (٣-٢٢) يوضح السعة بين موصلين معزولين بعازل
(اللوحان عبارة عن جانبي اللوح المطبوع النحاسيين)

قَدْ يُلاحظُ أَنَّ هذه الصيغةِ تَعطي فقط قيمة تقريبيةَ. على أية حال، عندما يكون عرض الموصل على الأقل ١٠ مراتِ أكبر مِنْ الفصل العازلِ dielectric separation، فإن المعادلة عموماً تصبح قريبة من التوافق مع القيم التجريبية empirical values . الترابط أو التزاوج السعوي بين الموصلات يُمْكِنُ أَنْ يُقلّل بتَحديد طولِ الموصلات المارة في نفس المستوى العمودي.

لكـي يُخفّضَ مقدارَ الارتفاعـات المفاجئـة spikes علـى خطـى التغذيـة والأرضـي للـدوائر سـريعة التحويل fast switching circuits، من المُسْتَحسن تمرير هذين الخطين بالضبط على الجوانبِ المعاكسة للوح المطبوع PCB. خطى التغذية والأرضي يشكّلان مكثّفَ فك إرتباط (إزدواج) موزع عبر اللوح المطبوع PCB. وجود الدائرة المتكاملة(TTL) Transistor Transistor Logic على اللوح المطبوع PCB سَتَعطي تيار ذو ارتفاعات مفاجئة ضيّقةَ النطاق على خَطِّ التغذية الذي سَيَسْحبُ مِنْ مكثف فك الارتباط de-coupling capacitor بدون إزْعاج جهد التغذية.

السعة بين موصلين متجاورين: هى عبارة عن دالة لعرضِ الموصل والسُمكِ والمباعدة بالإضافة إلى ثابت العزل لمادّةِ اللوح. لكُلّ الأغراض العملية، قيمة سعة الربط (الإزدواج) (pF/cm) للوح المدعوم ذو المسمى G-10 laminate مَع ثابت عزل ذو قيمة ٥.٤ وسُمك موصل ٣٥ مليمترِ معطى بالشكل ٣-٢٣.



شكل رقم (٣-٢٣) يوضح الازدواج السعوي بين موصلين متجاورين كدالة للمسافة البينية لهما.

لتَوضيح حالة عملية، دعنا نفترضْ أن إثنان مِنْ الموصلات بعرضِ ١ مليمترِ يمران بالتوازي بمسافة مباعدة مقدارها ١ مليمتر لطول مقداره ١٠٠ مليمترِ. مِنْ الشكل، وْجَدُ أن سعة الربط تخرج لتصبح ٠.٤ بيكوفاراد/سنتيمتر. هذا يَعطي سعة فعّالة كليّة مقدارها ٠.٤ × ١٠ = ٤ بيكوفاراد.

الإزدواج أو الترابط السعوي بين المسارات المتجاورة عادة يكون غير مرغوب. لذا، الطرق والوسائل التي تتسبب في هذا مِنْ الضروري اكتشافها ومحاولة اخراجها أو التخلص منها. الإجراءات الوقائية التالية تساعد على تَخفيض الإزدواج بواسطة المعامل مِنْ ٣ إلى ١٠:

- حاول الحفاظ على الموصلات الحرجة ضيقة مع زيادة المباعدةً الكافيةً بينها.
- أمرر الخط الأرضي بين الموصلات الحرجة، إذا كان بالإمكان. ويفضل الخَطّ الأرضي الأوسع.
- حيثما زود بمثل هذا الخَطِّ الأرضي، فإن موصلى الاشارة يَجِبُ أَنْ يمران بالقرب من خط الارض كلما أمكن. هذا سيحافظ على الربط السعوي العالي بالنسبة إلى الارض، بينما الإزدواج أو الربط بين خطوطِ الإشارة في نفس الوقت يصبحُ أقل.

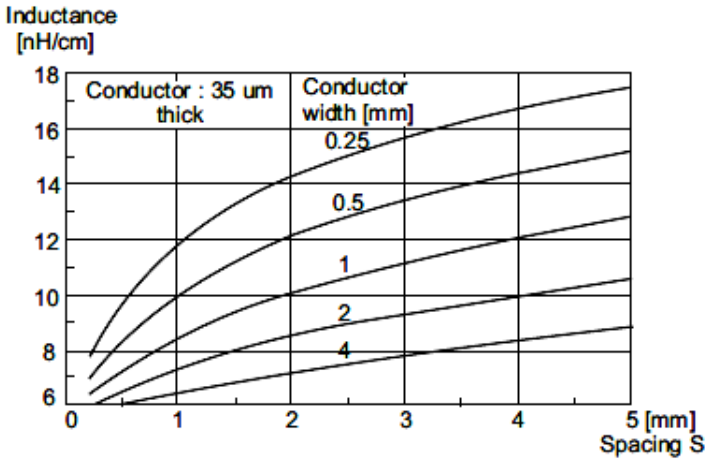
لمجموعةِ الدوائر الحرجةِ ذات الترددات العالية، نجد أن الخصائص الكهربائية للدوائرِ أحادية الجانب المصَنعة من الزجاجِ الابوكسي أَو الورق الابوكسي لَيستْ كافية ومرافقة بناءَ خَطِّ شريطي دقيقِ micro-strip line construction لمستوى ارضي يكون واجباً. طريقةَ إنْجاز قابليةِ خَطِّ تراسل مع لوح مطبوع ثنائي الجانب تسمى 'microstrip'.

٣-٣-٤ الحث الكهربائي لموصلات اللوح المطبوع PCB

Inductance of PCB Conductors:

في تَصميم اشكال أو انماط الموصل للإشارة السريعة أو الدوائر المنطقيةَ عاليةِ السرعة، يعتبر الإزدواج الحثِّيَ inductive couplings أيضاً من المخاوف الرئيسيةِ. في تشغيل الدوائر المنطيقةِ عند معدل ساعة clock rate مقداره ١٠ كيلوهيرتز فقط، فإن عناصر التردد العالي للاشارات المشكلة على هيئة مستطيل يُمْكِنُ أَنْ تُسبّبَ مشاكلَ في أغلب الأحيان. لذا، في مثل هذه الحالاتِ، من المهم معْرِفة ترتيب الحث الكهربائي للموصل.

حساب الحث الكهربائي للموصلات عبارة عن اجراءات معقدة. على أية حال، لنوع معلوم للوح مطبوع ذو قشرة نحاسية بسمك ٣٥ ميكرون لموصل النحاسي، فإن الحث الكهربائي لموصلات تمر بالتوزاي لأبعاد عرض موصلات مختلفةِ يُمْكِنُ أَنْ تُحْسَبَ بإستعمال الشكل رقمِ ٣-٢٤.



شكل رقم (٣-٢٤) يوضح الحث بين موصلين متوازيين.

٣-٣-٥ الإجهادات الكهربائية العالية

High Electrical Stresses:

الكثافة المتزايدة للتوصيلات البينية interconnection في طلباتِ البطاقات الإلكترونيةِ المطبوعةِ التي يعمل فيها المصممِ على إنقاص المباعدة ومقاس الاجزاء الموصلة بالتقادم مثل قطاعات الخَطِّ line sections، وأقطار الفتحات المطلية PTH diameters، ومساحات الوسائد، ..الخ. لذا، فإن مستوى التزايد للتكاملِ يكون طبيعياً ومصحوب بالزيادةِ في الإجهادِات الكهربائيةِ في اللوح المطبوع PCB . من الواضح، الإجهادات الكهربائية العالية (بضع كيلوفولت / مليمتر) يُمْكِنُ أَنْ تبْدأَ آليات التأثر التي تَعتمدُ على مستوى الإجهادِ الكهربائي، والظروف البيئية وحضور الإجهادِات الحراريةِ والميكانيكيةِ (Travi، وآخرين، ١٩٩٦). لذا، لكي تَبقي الإجهادات الكهربائية في مستوى مناسب لإنْجاز المستوى المطلوبِ في ثقةِ العزلِ، يجب أن يعمل المصممون على تزويد مسافاتِ العزلِ الكافيةِ التي قَدْ تكُون أعلى مِنْ المرغوب إقتصادياً.

٣-٤ أنماط أو أشكال الموصل

Conductor Patterns:

قابلية التصنيع manufacturability والثقة reliability للوح الدائرة المطبوعة يَعتمدانِ، لدرجة كبيرة، على التصميمِ الأساسيِ للوح الدائرة المطبوعة من ناحية عرضِ الموصل width والسُمكِ

thickness والمباعدة spacing والأشكالِ shapes والتوجيه routing، ..الخ. التصميم يُمْكِنُ أَنْ يتم يدوياً أَو بواسطة الحاسب، لكن القواعدَ الأساسيةَ في كلتا الحالتين ثابتة تماماً. هناك ثلاثة قواعد أساسية لتصميمِ الشكل العملي layout:

- لا تداخلَ بين العناصر؛
- لا تتقاطع الموصلات مع بعضها البعض؛ و
- المباعدة الكافية بين أيّ موصلين قَريبين.

كقاعدة عامة، كُلّ فتحة تستقبل فقط طرف واحد لأى عنصر وكُلّ طرف يَجِبُ أَنْ يَعْبرَ خلال الفتحة. لا يُمْكن أنْ يُلْحَمَ إلى طرف آخرِ، بغض النظر عن كَمْ أنه حَسن. العناصر المحورية لَها اطراف متوازية عموماً مع محورِ الجسمَ، مالم يحدّدَ غير ذلك.

٣-٥ قواعد تنسيبِ العنصر

Component Placement Rules:

فيما يلي قواعدَ تنسيبِ العنصر:

- في الدائرة الحسّاسة جداً، توضع العناصر الحرجة (الرئيسية–الكبيرة) أولاً وبمثل هذا الإسلوبِ يَتطلّبُ طولاً أدنى للموصلات الحرجة.
- في الدائرة الأقل حرجاً، يتم ترتيب العناصر بالضبط كما في طلبِ التدفقِ للاشارة. هذا سَيُؤدّي إلى الطول الكلي الادنى للموصل.
- في الدائرة حيث بضع عناصر لَها المزيد من نقاطُ التوصيل أكثرِ إلى حدٍّ كبير مِنْ العناصر الاخرى، هذه العناصر تعتبر عناصر رئيسيةِ يَجِبُ أَنْ تُوْضَعَ أولاً والعناصر الباقيةَ يتم تجميعها حولها.
- القاعدةَ العامّةَ هو أَنْ تَضعَ العناصر الأولى، التي يكون موقعها ثابتُ للتركيب النهائيِ والتوصيلات البينية interconnection ، ومثال على ذلك: – المقابس، المسربات الحرارية ، ..الخ. ثمّ توضِعُ العناصر التي تكون مُرتَبِطة إلى هذه العناصر الثابتةِ.
- العناصر يَجِبُ أَنْ تُوْضَعَ على شبكةِ أصغر مسافة بها تساوي ٢.٥ مليمترِ.
- بالنسبة للعناصر، العناصر الأكبر توضع أولاً والمباعدة فيما بينها تملأ بعناصر أصغر.

- كُلّ العناصر يَجِبُ أَنْ تُوْضَعَ بمثل هذا الإسلوبِ حتى نتمكن من اعمال الصيانة إذا تطلب الامر استبدالها.
- العناصر يَجِبُ أَنْ تُوْضَعَ في صفوف أَو أعمدة، لكي تعطي نظرة عامّة جيدة.

٣-٥-١ عرض وسُمكِ الموصل

:Conductor Width and Thickness

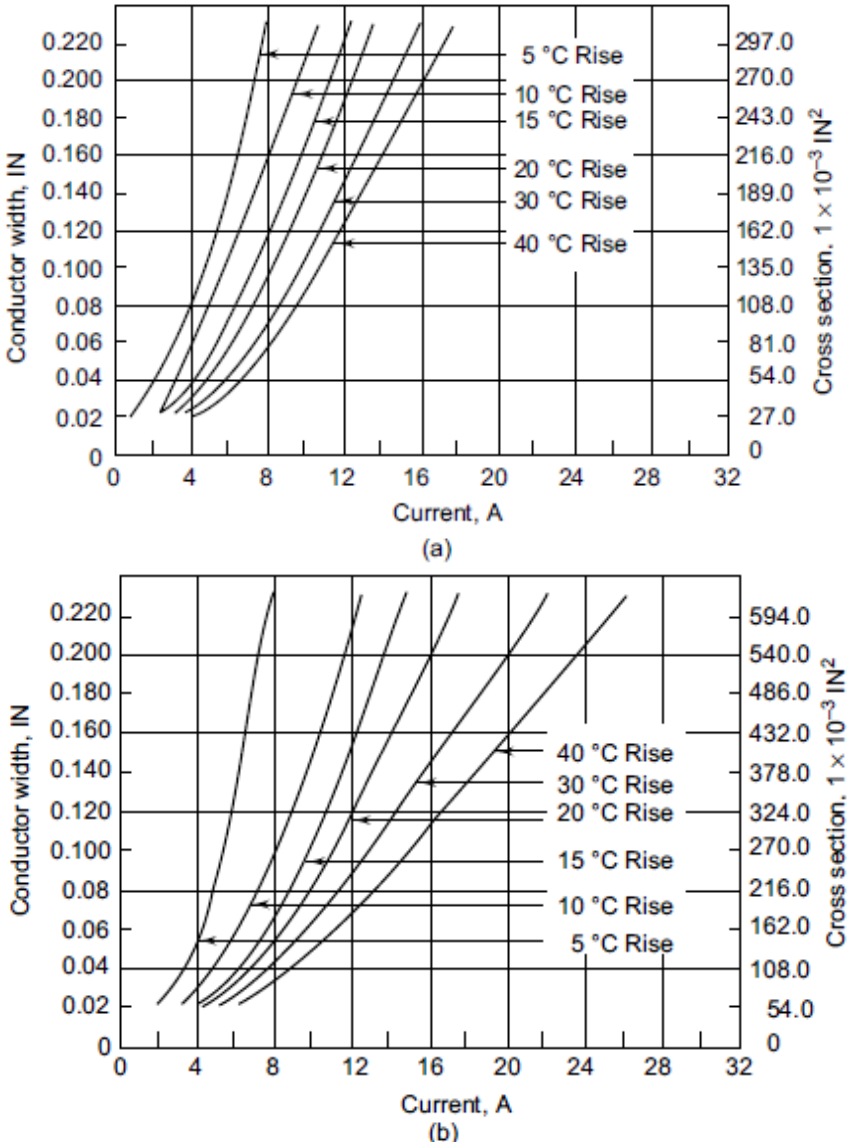
يتم تحديد عرض الموصل بواسطة (Ross and Leonida, 1997):

- كثافة تغليف العنصر؛
- المباعدة الدنيا بين الموصلات و/ أَو العناصر؛ و
- القيود الهندسية نتيجة للخطوط العامّةِ outlines للعنصر أَو الخرج المروحي fan-out .

يعتبر عرضَ الموصل أساساً دالة للتيارِ المحَمولَ وارتفاع الحرارة القصوى المسموح بها نتيجة للمقاومةِ. يُؤدّي الموصل الضيّق إلى المقاومةِ العاليةِ. بينما الموصلات العريضة، تكون مرغوبة لإشاراتِ المعاوقة الكهربائيةِ المنخفضةِ حيث أنَّ هناك سلسلة من المقاومة والمحاثّة الكهربائيةِ سَيتم تقليلهما وسعةَ ضالّةَ غير مهمة. من الناحية الأخرى، في حالة خطوطِ المعاوقة الكهربائيةِ العاليةِ للإشارة، حيث السعة الضالّة مطلوب لأن تكون محددة لقيمة منخفضة، تستعمل الموصلات الضيقة. عادة، عرض الموصل يَجِبُ أَنْ يَكُونَ كبيرة بقدر الإمكان للإعتِناء بأيّ إختلاف في عمليةِ النقش بالإضافة إلى أيّ خدوش في العمل الفني المتسبب بدون قصد. الشكل رقم٣-٢٥ يوضح قيمة التيارَ المحمول لموصلات النحاس المَحْفُورة للألواحِ الصلبة rigid boards . عموماً، للموصلات ذات ابعاد السمك المختلفة ٣٥ مليمترِ و ٧٠ مليمتر، القيمة الاسمية ١٠ بالمائة de-rating مسْمَوحُ بها للتَزويد للإختلافاتِ الطبيعيةِ في طرق النقش.

العمليات الكيميائية والفوتوغرافية المستعملة لإنْتاج ألواح الدوائر المطبوعة تضعَ المتطلباتَ على الحَدّ الأدنى لعرض الأثرِ trace (المسار–الموصل) والحَدّ الأدنى للمباعدُة بين المسارات. إذا كان المسار أصغر مِنْ هذا العرضِ الأدنى، فإن هناك فرصة لحدوث فتح أو فصل (لا إتّصالَ) وقت صناعتها. إذا كان هناك مسارين أقرب من بعضهما البعض مِنْ المباعدة الدنيا، فإن هناك بَعْض الفرص لحدوث قصر بينهما وقت الصناعة. هذه البارامتراتِ تصنف عادة كقواعدX/Y ، حيث أنَّ

X هى المسار الادنى عرضاً و Y مباعدة المسار الدنيا. على سبيل المثال، تُشيرُ قواعد ١٠/٨ إلى ٨ mil حد أدنى للعرض و ١٠ mil مباعدة المسار الدنيا. قواعد العمليةِ الحديثةِ المثاليةِ هى ٨/٨ مَع قِيَم صغيرة لدرجة أنْ تَكُونَ قواعد ٢/٢ متوفرة.



شكل رقم (٣-٢٥) يوضح ارتفاع درجة الحرارة مقابل التيار عند (a) واحد أونس من النحاس و (b) ٢ أونس من النحاس.

٣-٥-٢ مباعدة الموصل

Conductor Spacing:

وضعت اعتبارات مباعدة الموصل عموماً على توقّفِ (انهيار) الجهد أَو الوميض الزائد flashover بين الموصلات المتجاورة. تحدد مباعدة الموصل بالفرق البالغ الذروة للجهدِ بين الموصلات المتجاورة، وبارامترات الازدواج أو الترابط السعوي capacitive وإستعمالِ الطلاء. التصميمات الموصّى بها لمباعدة الموصل:

التصميمات العامّة: ٠.٠٢٥ مليمتر حد الجهد المستمر ٤٠٠ في حالة الكثافة العالية:

الحَدّ الأدنى المفضل للجهد المتغير ac أَو البالغ الذروة peak هو ٠.٠١٥ مليمترُ،

حد الجهد البالغ الذروة المستمر أو المتغير هو ٥٠ فولت.

إنّ الحَدّ الأدنى بواسطة الإستثناءِ هو ٠.٠١٠ مليمترُ.

في حالة تصميمات الحَدّ الأدنى المُفَضَّلِ أَو الحَدّ الأدنى بواسطة الإستثناءِ، يجب أن يكون تجميع اللوح المطبوع مَكْسُوَ إمتثالياً conformal coated أَو يجب أن يطبق قناع لحامِ مناسب.

يَجِبُ أَنْ تُطبّقَ المباعدة الجائزة الدنيا فقط حيث لا يوجد هناك طريقَ لتَفاديها، وإلا يجب أن تعطى المباعدة الأعلى عادةً. هذا لتُقلّيلَ معدل المرفوضَ أثناء الإنتاجِ.

الإعتبارات الإضافية في تحديد مباعدة الموصل هى :

i) الممانعة الكهربائية الحرجة أَو عناصر التردد العالي يَجِبُ أَنْ يُوْضَعا قريبين من بعضهما جداً لخفّضْ تأخيرَ المرحلةِ الحرجِة critical stage delay .

ii) المحولات والعناصر الحثّية يَجِبُ أَنْ يُعْزَلا لمَنْع الإزدواج coupling.

iii) مسارات الاشارة الحثّية يَجِبُ أَنْ تتقاطع بزوايا قائمةِ.

iv) العناصر التي تُنتجُ أيّ ضوضاء كهربائية مِنْ حركاتِ المجالات المغناطيسيةِ يَجِبُ أَنْ تكُونُ مَعْزُولة.

ليس هناك معايير للمباعدة الدنيا بين أيّ طرفين لَيسا متصلين بشكل كهربائي. على أية حال، بمتوسط ٢ مليمتر يُؤْخَذانِ عموماً أينما كانت الجهود في زيادةٍ مِنْ ٣٠ فولتِ أَو حيثما حدث قصر short سَيُسبّبُ فشلَ لطبيعةِ حرجةِ أَو عناصر غاليةِ، عندما تكون الزيادة في المباعدة تصبح ضرورية.

أكثر الدوائرِ الحديثةِ تَستعملُ عناصر شبهِ موصلة تَشتغلُ عند جهود عادة حتى ٢٤ فولت. لذا، مشكلة الانهيار نتيجة للمباعدة الضيقة بين الموصلات تقريباً لا تَوجِدُ. على أية حال، للوح الابوكسي epoxy الطبيعي الغير مغطى، يَشتغلُ عند إرتفاعِ أقل مِنْ ١٠٠٠ مترِ، المباعدة يَجِبُ أَنْ تَكُونَ ٠.٠٠٢ ميلليمتر/فولت. هذا الرقمِ يَجِبُ أَنْ يُزادَ أبعد من ذلك للشروطِ الأقسى harsher conditions لضمان أمانِ كافي. وحدات المباعدة الأدنى للموصل الموصّى بها لجهود مختلفة معطاة في الجدول رقم ٣-٤.

جدول رقم (٣-٤) الحد الأدني من مباعدة الموصل الموصي بها:

Voltage between conductors dc or ac Peak (volts)	Uncoated traces 0-10,000 ft IPC ML 910A	Uncoated above 10,000 ft Alt.	Coated and Internal Layers MIL STD 275 and IPC ML 910A
0–15	0.015 (0.38 mm)	0.025" (0.64 mm)	0.005" (0.13 mm)
16–30			0.010" (0.25 mm)
31–50			0.015" (0.38 mm)
51–100		0.060" (1.52 mm)	0.020" (0.51 mm)
101–150	0.025" (0.64 mm)		
151–170	0.050" (1.27 mm)	0.125" (3.18 mm)	0.030" (0.76 mm)
171–250		0.250" (6.35 mm)	
250–251		0.500" (12.70 mm)	
251–301	0.100" (2.54 mm)		0.060 (1.52 mm)
500			
500 +	0.0002 in/volt (0.0051 mm/volt)	0.0010 in/volt (0.0030 mm/volt)	0.00012 in/volt (0.00305 mm/volt)

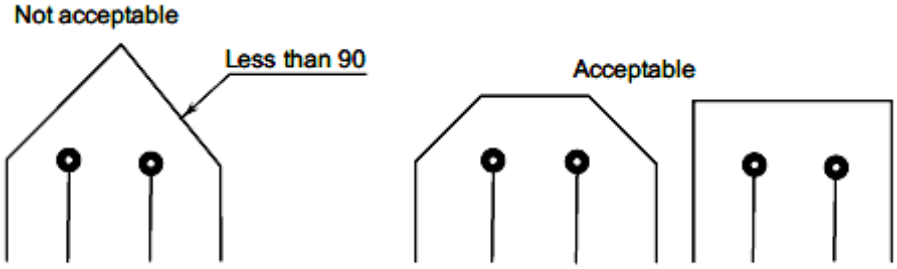
٣-٥-٣ أشكال الموصل

Conductor Shapes:

بينما يُقرّرُ التخطيطَ العملي، يَجِبُ تجنب انثناءات الأغطيةَ الحادّةَ والزاوية الحادةَ في الموصلات كلما كان من الممكن. المخططات المدوّرة rounded contours سوف لَنْ تُقلّلَ تصدع الموصل فقط، ورَفْع ورقِ النحاس الرقيق والانهيار الكهربائي، لكنها أيضاً تسهّلُ توزيعَ اللحامِ بشكل كبير. العملية قَدْ تَكُون أغلى مِنْ وجهةِ نظر الرسم. الزوايا أو الاركان المدوّرة عند إنحناءاتِ الموصل والدوران الناعم للداخل عند ملتقى الموصل والمناطقِ الطرفيةِ (الوسائد) تكون مرغوبة.

المسار الممتد في خط مستقيم يكون نظيفُ نسبياً، بينما المسار الذي يمتد مباشرة وبعد ذلك يدور بزاوية مقدارها ١٨٠ درجةُ عائداً على نفسه يَشْبهُ تماماً الهوائي. الخَطّ الذي يَقوم بدوران زاوية قائمةِ يَبْدوأُ أيضاً وكإنه يشبه الهوائي. بل هو في الحقيقة لَيسَ هوائي جيد جداً.

لذا، فإن الألواح لا يَجِبُ أَبداً أَنْ يكونَ لديها خطوطُ اشارة تَدُورُ أكثر مِنْ ٤٥ درجة وكُلّ زوايا أو أركان المسار يَجِبُ أَنْ تكُونَ mitred كالمعروض في الشكل رقمِ ٣-٢٦.



شكل رقم (٣-٢٦) يوضح أشكال الموصل : الاشكال المفضلة والغير مفضلة.

٣-٥-٤ توجيه الموصل والمواقعِ

Conductor Routing and Locations:

للتشغيل الخالي من العيوب للدائرةِ، من الضروريُ التزود بالتوجيه routing المناسب للموصلات المطبوعِة وتَحديد مكان العناصر المُخْتَلِفةِ بأسلوب لا يؤدي إلى اضطرابات كهربائية أو ميكانيكية.

قواعدَ توجيه الموصل بموجب المعيار ANSI/IPC-2221 هي كالتّالي:

١. طول الموصل يَجِبُ أَنْ يَكُونَ الأقصرَ بقدر الامكان. في الدوائرِ البسيطةِ حيث أنَّ الكثير مِنْ الفراغ متوفر، يُمْكِنُ أَنْ تمر الموصلات في أيّ إتّجاه لِكي تعطي التوصيل البيني الأقصرَ طولاً.
٢. الموصلات التي تشكّل زوايا حادّةَ يَجِبُ أَنْ نتفادها حيث أنها تخلق مشاكلَ في أثناء عملية النقش.
٣. حيث يتطلب الامر مرور موصل واحد أَو عِدّة موصلات بين الوسائد أَو المناطقِ الموصّلةِ الأخرى، فإن المباعدة يَجِبُ أَنْ تُوزّعَ على حد سواء (بالتساوي).
٤. المباعدة الدنيا تطبق فقط أينما لا يُمْكنُ تفاديها، ماعدا ذلك فإن المباعدة الأعلى عادةً يَجِبُ أَنْ تعطي.
٥. في لوح الدائرة المطبوعة ثنائية الجانب، من الممارسات الطبيعية رسم المساراتِ على جانبِ العنصر component side في إتّجاه الإحداثي الصادي Y والمساراتِ على جانبِ اللحامَ solder side في إتّجاهِ الاحداثي السيني X .
٦. يجب توزّيعْ العددَ الأقصى مِنْ المسارات على جانبِ اللحامَ ورسمها في إتّجاه الاحداثي السيني X .

هناك إقتراحات عملية أخرى هي:

١. استخدم أدنى عدد من الطبقاتِ لتوزيع الأسلاك.
٢. زوّدْ العرضَ الاقصى للخَطِّ والمساحة الطرفيةِ المناسبة مع كثافةِ التغليف.
٣. تفادي الزوايا الحادّةَ والانثناءات في الموصلات لتَقليل مشاكلِ كهربائيةِ وميكانيكيةِ.
٤. بالتوجيه routing الحذرِ للقطاعات الفرديةِ لكُلّ دائرة، زوّدُ موصل خاصَّ إلى أرض وحيدة في نقطة وحيدة بشكل جوهري. مجموعة دوائر التأريض circuitry Grounding تعتبر قلقِ رئيسيِ في تَحديد الشكل العملي layout لمجموعةِ الدوائر الداخليةِ.

٣-٥-٥ موصلات التغذية والأرضي

Supply and Ground Conductors:

إنّ الإعتبارَ الأساسيَ في موصل القدرة أَو الأرضي هو تحقيق التوصيل المباشر من العنصر إلى مصدر التغذية الكهربائيةِ. وحيث أن ذلك لَيسَ محتملَ دائماً، فإن الخطوة الافضل الثانية هو زيادة عرض الموصل لإعطاء الكتلةِ الكافيةِ لإنْجاز نفس النَتائِجِ بشكل جوهري. قَدْ نتذكر أنّ خطوط التغذية والأرضي على لوح الدائرة المطبوعة لَيسا فقط حلقات توصيل. يَلْعبُ عرضُ هذه الموصلات وتخطيطِها العملي layout دوراً مهمَاً في مَنْح الإستقرارِ لجهود الدائرةِ. في بَعْض الحالاتِ، فقود المقاومة في هذه الموصلات قَدْ تؤدّي إلى عدم استقرار جهد التغذية أَو عدم استقرار النظام الأرضي. لذا، من المُسْتَحسن أَنْ يَكُونَ مدرك بالكامل للدوائرِ المحتملةِ على لوح الدائرة المطبوعة PCB تَصميم الموصلات بالعرضِ الكافي. المشاكلَ الأكثر خطورة هى المتمثلة في حالة الدوائر الرقمية وذات اشارات التردد العالي .

عندما يكون هناك عِدّة جهود تغذية مستعملة في دائرة، فإنه يجب أنْ يكون مؤكداً أنّ موصل الأرضيَ لَه القدرةُ لحَمْل الحملِ المشتركِ تحت أسوأ الأحوال. هناك طريقة مجرّبة لتحديد عرضُ الموصلات للأغراضِ المُخْتَلِفةِ وهى:

$W_{ground} > W_{supply} > W_{signal}$

Where

W_{ground} = conductor width of ground line

W_{supply} = conductor width of supply line

and W_{signal} = conductor width of signal line.

القاعدةَ الأساسيةَ للدوائرِ المتكاملة ذات التصنيع TTL هى

$W_{ground} \geq 2\ W_{supply}$

$W_{supply} \geq 2\ W_{signal}$

أيضاً، لدوائرِ TTL، من المُسْتَحسن إسْتِعْمال كُلّ مساحة اللوح الغير مستعملةِ لموصلات الأرضيِ من مستوى الارض ground plane.

توزيعَ الجهد أَو القدرة ومستويات الأرضي ground planes تكون لذا عبارة عن عنصر تصميم حرجٍ في الشكل العملي layout لتغليف أشباه موصل معقد أو عالي المداخل/المخارج. موصلات الجهد والارض صمّمتْ عموماً كمستويات معدنية كاملة. المشاكل الرئيسية المصاحبة في تصميم موصلات الجهد والأرضي (براون، ٢٠٠٢) هى:

١. فقود القدرة الكهربائية Power losses ؛
٢. تغير أو اختلاف الجهد والقدرة الكهربائيةً Power and voltage level variation؛
٣. الكفاءة؛ Efficiency و
٤. تداخل الحديث خلال التوصيل البيني Interconnection cross-talk .

هذه المشاكلِ تُخاطبُ في قواعدِ التصميمَ بموجب المعيار ANSI/IPC-2221. وهي:

١. الدوائر التماثلية والرقمية على نفس لوح الدائرة المطبوعة يَجِبُ أَنْ يكون لَها شبكة أرضية مستقلةُ بصرامة لتَجَنُّب فقود القدرة .
٢. كُلّ الإشارات والعناصر الرقمية يَجِبُ أَنْ يُحدّد لها مكاناً بعيداً عن مجموعةِ الدوائر التماثلية. كُلّ المسارات الرقمية ذات السرعة العالية يَجِبُ أَنْ تَأْخذَ التوجيه الأكثر مباشرة على الأرضِ الرقميةِ أَو مستوي القدرة الكهربائيةِ.
٣. موصلات الاشارة الجهدية والارضية يَجِبُ أَنْ يَكُونا مجهزان بالعرضِ الكافي للإبْقاء على مستوى المحاثّة الكهربائيةَ والمقاومة منخفضتان ولحَمْل التيارِ المطلوبِ، ما عدا ذلك فإن الموصل سَيَتصرّفُ مثل المصهر fuse .
٤. بينما يتم توصيل موصلات الجهد والارضي، فإن الأولوية يَجِبُ أَنْ تُعطي إلى العنصر الأعلى إستهلاكِاً للكهرباء، لكي يكون الإستهلاك الكهربائي بطول خَطِّ التغذية يَجِبُ أَنْ يَنْقصَ بشكل مستمر.
٥. المباعدة بين موصلى الجهد والأرضي يَجِبُ أَنْ تكُون كبيرة بقدر الإمكان للتَفادي مشاكل تداخل الحديث cross-talk، وبمعنى آخر: تداخّل التياراتِ.
٦. كُلّ موصلات الدخل/الخرج للجهد والأرضي يَجِبُ أَنْ يكونَ لديهُما طولُ موصل أدنى لإنْجاز كفاءة أكبر في الدائرةِ.

٧. لزيَادَة سرعةِ أداءَ القالب الشبهِ موصل semiconductor die والاغلفة packages، يطلب العديد من المداخل/المخارج للقدرة والارضي. عادة ، لوح الدائرة المطبوعة مَع ٤٠–٦٠ بالمائة موصلات جهد وأرضي لَهُا سرعة أداءِ جيدةِ.

٨. تجنّبْ تغذيات نمط التحويل switch mode power بالقُرْب من ADCs، و DACs والدوائر التماثلية analog circuits. أحياناً، من السهولة إسْتِعْمال منظم ثلاثي الاطراف 5V three-terminal regulator منفصل، بالقُرْب من الرقاقةِ، للتغذية التماثلية. بوضع مكثف تانتلوم tantalum أو ألومنيوم aluminum مقداره ٢٢ ميكرو فاراد عند حافةِ اللوح يُساعدانِ على تَخفيض الضوضاء الناتجة عن التغذية الكهربائية.

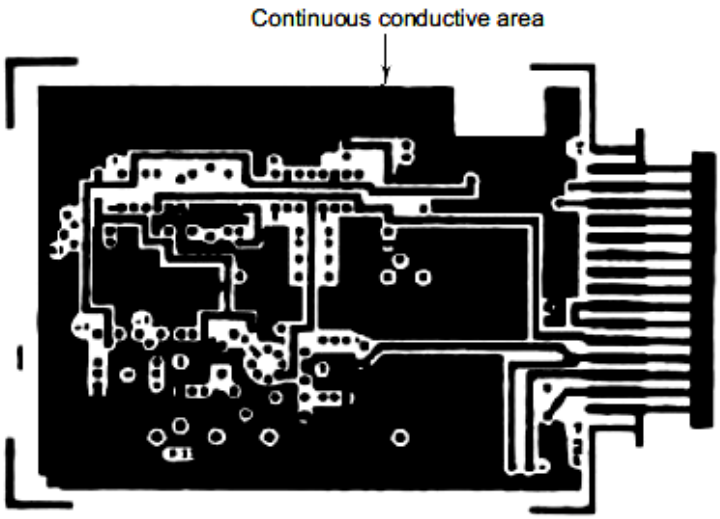
٩. إنتبهْ إلى المجال المغناطيسي الخارجي للملفات inductors والمحولات. إستعملْ العناصر المحجبة مغناطيسياً والكتروستاتيكياً، إذا كان ضرورياً. ملفات الخنق لفك الإزدواج الراديوي RF de-coupling chokes يُمْكِنُ أَنْ تثبت بزاويا قائمة لتَقليل المحاثّة الكهربائيةِ المتبادلةِ mutual inductance . المحولات الكهربائية يَجِبُ أَنْ تثبت خارج اللوح وتوجّه حسب الطلب، مع المنطقةِ الأكثر حدّة مِنْ مجالها الخارجي، بعيداً عن الدوائر التماثلية الحرجِة. إستعمال المحولاتِ الحلقية toroidal الكهربائية لتَخفيض المجالات الخارجيةِ المغناطيسيةِ.

١٠. إعتبرْ بعناية وجود عناصرالمنطقِ القابلة للبرمجةِ Programmable Logic Devices (PLDs)) ورقاقات منطقية متكاملة ذات تدريج كبير جداً Very Large Scale Integrated (VLSI) logic chips على نفس ألواح الدوائر المطبوعة. هذه الرقائقِ تضمّنْ الكثير مِنْ المنطقِ المتزامنِ synchronous logic وتولّدْ تياراتَ التحويل switching currents الكبيرةِ التي يُمْكِنُ أَنْ تَخترقَ بقيّة اللوح. تأكّدْ من أنها تتجاوز حَسناً عند الاطراف الدبوسِية للرقاقةَ. هذا سوف لَنْ يضمن تشغيلها الموثوق فقط لكنه يخفّضَ ضوضاءاً على خَطِّ التغذية.

في الدائرة المعقّدة، من المرغوبُ شق أو تجزئة split التوصيل الأرضي لإنْجاز الكفاءةِ المثاليةِ للدائرة. الأرضي المشترك common ground قَدْ يسبّبُ العديد من حالات الهبوط الجهدي الضارةِ بطول الموصل، معطية بذلك الضوضاءِ والإشاراتِ الخاطئةِ والمزيفة وتؤدّي إلى تَعْطيل الدائرةِ. لذا، يجب على المصمم أمّا أن يَنْقصُ الطولَ أَو يَزِيدُ عرضَ الموصل الأرضي بقدر ما يمكن.

لكي نحصل على تحجيب كافي، خصوصاً في حالة التحجيب ضد التردد العالي، من المرغوب التَزود بمستوى أرضي ground plane . في عالم لوح الدائرة المطبوعة، المستوى هو عبارة عن لوح صلب مِنْ النحاسِ. هذا المستوى يصبح مستوى أرضي ground plane إذا تم توصيله إلى الارضي ويصبح مستوى قدرة power plane إذا تم توصيله إلى جهد تغذية القدرة. لكن حيث أن هناك عادة عديد من مكثفات الامرار الجانبي bypass capacitors بين القدرة الكهربائيةِ والأرضي، فإن العلامة الفارقة بين القدرة والأرضِي لَيْسَت لهُما أهميةُ للإشاراتِ ac ، الاشارة ac التي يُمْكِنُ أوالتي تُسافر خلال نوعى المستوى .

التدبير الاحتياطي لمستوى الأرضي يضْمنُ خَطّ عودةِ تردد عالي ذو محاثّة كهربائيةِ منخفضةِ. السعة المتبادلة يُمْكِنُ أَنْ تُقلّلَ إذا وضع خَطِّ الإشارة بالقرب من مستوى الأرضَ أَو أنه سيوضع مؤخراً. لذا، تعطي المستويات الارضية المتسعة والمباعدة الصغيرة للموصل ، تعطي ممانعة منخفضة وتداخل أقل، وتباعاً، استقرار أكبر. الشكل رقم ٣-٢٧ يوضح كيف أن المستوى الارضي مجهز في الشكل العملي layout للدائرة المطبوعة PCB.



شكل رقم (٣-٢٧) يوضح المستوى الأرضي في الشكل العملي للوح الدائرة المطبوعة.

٣-٦ إعتبارات الصناعة والتجميع

Fabrication and Assembly Considerations:

يَجِبُ أَنْ تُؤْخَذَ في الحسبان حدودِ معينة لكي تُزيّدَ مقدرة التصنيع manufacturability وبالتالي تقلّلْ التكلفةً. أيضاً، العوامل البشرية يجب أنْ تؤخذ بعين الإعتبار قبل أن يصبح التَصميم قيد التنفيذ. هذه العوامل مُحَدَّدة فيما يلي.

١. الموصل الذي يُباعدُ بمسافة بينية أقل مِنْ ٠.١ مليمترِ سوف لَنْ ينفذ بعمليةِ النقش الكيميائي، لأن سائل مركب الحفر etchant لا يُوزّعُ بشكل كفوء في الفراغاتِ الأضيقِ مما يؤدّي إلى نقص في ازالة المعدنِ.
٢. عرض الموصل الأصغرِ مِنْ ٠.١ مليمترِ سَيُؤدّي إلى الكسرِ والضررِ أثناء عملية النقش الكيميائي.
٣. مقاس مساحة الهبوط (الوسادة) land يَجِبُ أَنْ تكُونَ على الأقل ٠.٦ مليمترَ أكبر مِنْ مقاس الفتحةَ hole size.

تُحدد التقييداتُ التاليةُ الاساليب الفنية للتشكيل العملي layout:

١. قابلية المقاس لآلةِ تصوير reprographic لإنتاجِ الفيلمِ الرئيسي film master؛
٢. مقاس جدول العمل الفني Artwork ؛
٣. حجم معالجة اللوح الأدنى أَو الأقصى؛
٤. دقةِ عملية التثقيب Drilling accuracy ؛ و
٥. وسائل حفر الخَطّ الرفيع Fine line.

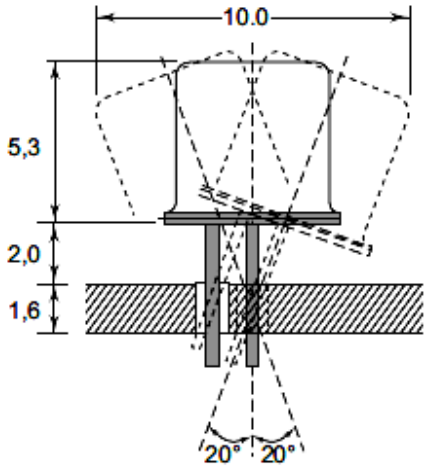
البارامتراتَ التاليةَ مَأْخُوذة في الإعتبار للتصميمِ مِنْ وجهةِ نظر تجميع ألواح الدوائر المطبوعة:

١. قطر الفتحةِ سيعبر عنه بدلالة حدود الظروف الماديةِ القصوى maximum material conditions (MMC) وحدود الظروف الماديةِ الأقلّ least material conditions (LMC). قطر فتحةِ عنصر غير مدعوم سَتَكُونُ مثل حدود الظروف الماديةِ القصوى **للطرف** مطَروحَ مِنْ حدود الظروف الماديةِ القصوى **للفتحةِ** يعطي الخلوص بين الحَدّ الأدنى مِنْ ٠.١٥ مليمترِ والحَدّ الأعلى مِنْ ٠.٥ مليمترِ. أيضاً، للأطراف الشريطِية المستويةِ flat ribbon

leads، الفرق بين القطرِ الإسمي للطرف والقطرِ الداخلي للفتحةِ الغير مدعومةِ لَنْ يتجاوزَ ٠.٥ مليمترَ ولن يقل عن ٠.١٥ مليمترِ.

٢. بشكل صحيح تُحدّدُ أماكن العناصر الأصغرُ لكي لا تكون مظللة بواسطة عناصر كبيرة.
٣. سُمك قناعِ اللحامِ لا يَجِبُ أَنْ يَكُونَ أكبر مِنْ ٠.٠٥ مليمترِ.
٤. نقش طبعةِ الشاشةِ لا يَجِبُ أنْ تواجه بأيّ وسادة لحامِ.
٥. نصف القمة للوح يَجِبُ أَنْ يكُونَ مرآة للنصف القاعي للوح لإنْجاز البناء المتوازن، لأن الألواحَ الغير مُتماثلةَ تَمِيلُ إلى التَشويه.

إحدى الإعتباراتِ المهمةِ مِنْ وجهةِ نظر تجميع لوح الدائرة المطبوعة هو أنّ الإنتباهِ الكافي يجب أنْ يُعطي إلى إمكانية حدوث حالات قصر shorts حيث تُولّدَ بواسطة أى عنصر مدخل وقد انحرف عن موضعه النظري قبل اللحام. كَقاعِدَةٍ الإبهامِ، الميل الأقصى المسموح به لطرف العنصر هو أن يَبْقى في حيز الزاوية ١٥° من موقعِه النظري. ويُمْكِنُ أَنْ تصل إلى ٢٠° مزودة الفرق بين الفتحةِ وقطرِ الطرف بمقدار عاليُ. في العناصر المثبتة عمودياً، الميل يُمْكِنُ أَنْ يَرتفعَ إلى ٢٥° أَو ٣٠°، حيث يُؤدّي إلى تخفيضِ هامٍّ فى كثافةِ التغليف. الشكل (٣–٢٨) يوضح تغليف الترانزستورِ TO-18 مع الأدلّةِ أو الاطراف عند زوايا مختلفة.



شكل رقم (٣–٢٨) يوضح انحراف التغليف TO18 العمودي، مثبت بأرتفاع ٢ ميلليمتر من سطح اللوح. إذا كان قطر الفتحة ١ مليمتر، فإن الانحراف يمكن أن يصل إلى زاوية مقدارها ٢٠ درجة بدون أى انحراف للأطراف.

تجميع اللوح المتعدد عادة يجعل الخدمة أو الاصلاح للوح عند مستوى المجال أسهل كبديل لمستوى اللوح يُمكنُ أَنْ يَكُونَ بسهولة مُنَفَّذ. على أية حال، هذا محتملُ فقط إذا كان كُلّ لوح مفرد يؤدّي وظيفة معيّنة. في مثل هذه الحالاتِ، اللوح البديل لَنْ يَتضمّنَ أي تَفكيك رئيسي مع أقل ما يمكنِ من لحام / فك لحام . تصميم ألواح الدوائر المطبوعةِ يَجِبُ أَنْ يَؤخذَ بعين الإعتبار مفاهيم مقدرة الصيانة maintainability .

الاساليب الفنية للحام وأجهزةِ التجميع أيضاً تظهر العديد مِنْ القيودِ على تصميمِ الشكل العملي layout للوح. على سبيل المثال، في لحام الموجة wave soldering ، نجد أن المقاسات القصوى للشقوقِ slots وخلوص الحافةِ edge clearances وخلوص المعالجة handling clearances هى عبارة عن بارامتراتَ مهمةَ. أيضاً، يجب أن يكون المصممين مدركين على ما سيكون المنتج النهائي ومحاولةَ حِماية أكثر أجزائِه الحسّاسةِ، بقدر الإمكان. على سبيل المثال، أيّ دائرة جهد عاليةِ يجب حمايتها لمَنْع حدوث تماس من الخارج. الموقع الحذر للعناصر على الألواحِ ومن الألواحِ في المُنتَجِ يُمْكِنُ أَنْ يُساعدَ على تَقليل إمكانيةِ الضررِ مِن قِبل الوكلاءِ الخارجيين.

٣-٧ العوامل البيئية

:Environmental Factors

ثقة أى جهاز، على المدي البعيد، تعتمدُ على ثقةِ لوح الدائرة المطبوعة الأساسِية. ولذلك، يكون من المتَوقّعَ أنّ لوح الدائرة المطبوعة PCB يَجِبُ أَنْ يقاومَ التعرّضَ للمتطلبات البيئية بدون ضرر طبيعي أَو تغييّرُ في خصائص التشغيل. أيضاً، بجانب خدمتها كوسط توصيل كهربائي، فإن مستويات توزيع الأسلاك المطبوعة تعطي الدعم الميكانيكي للعناصر النشيطةِ active والغير نشيطة passive التي تم توصيلها عليها. هكذا، اصبحت جزء متكامل مع التغليف أو التجميع ولذا يَجِبُ أَنْ تَكُون قادرة على مُقَاوَمَة الاجهادات البيئية المرافقة مع كامل التركيبِ. العوامل البيئية المهمة في تصميمِ البطاقات الإلكترونية المطبوعة مُفصّلة فيما يلي.

٣-٧-١ الإعتبارات الحرارية

Thermal Considerations:

مصمم لوح الدائرة المطبوعة PCB يَجِبُ أَنْ تظْلَّ النقاطِ التاليةِ نصب أعينه لضمان تَبريد مناسب للأغلفة الالكترونية :

١. إستعمال عناصر درجات الحرارة العاليةِ، حيثما أمكن؛
٢. العزل الحراري للعناصر الحساسة لدرجةِ الحرارة مِنْ مصادرِ الابتعاث الحراري العالي؛ و
٣. ضمان التَبريد التوصيلي الصحيحِ؛ إزالة الحرارةَ يُمْكِنُ أَنْ تُنجَزَ بواسطة كل الثلاثة أنماط لنقلِ الحرارةِ، وبمعنى آخر: التوصيل conduction والإنتقال convection والإشعاع radiation .

إزالة الحرارة بالتوصيلِ مُنجَزُ بواسطة:

١. إستعمال الموادِ ذات التوصيلِ الحراريِ العاليِ؛
٢. تَبنّي الطرق المباشرة والأقصر إلى مسربات الحرارةَ؛
٣. ضمان الإزدواج الحراريِ الجيدِ بين الأجزاءِ المشتركة في مسار التوصيلَ؛ و
٤. تصمّيمُ الموصل المطبوع بمساحات تسريب حراريةِ كبيرة بقدر الإمكان.

التَبريد خلال الإنتقال convection يُمْكِنُ أَنْ يُزدادَ مِن قِبل:

١. تحسين المساحة السطحيّةِ المتاحة لنقلِ الحرارةِ؛ و
٢. استبدال التدفقِ الرقائقيِ بالتدفقِ العاصفِ (التوربيني)، بذلك يَزِيدُ معامل نقلَ الحرارةَ والتأكيد بفعل الحَكّ الجيدِ حول الأجزاءِ الّتي سَتُبرّدُ.

انتقال الحرارة بالإشعاعَ يُمْكِنُ أَنْ يُحَسّنَ بواسطة:

١. إستعمال الموادِ المميزة بالإشعاع العالي emissivity والمميزة بقابليةِ الإمتصاص absorptivity؛
٢. رَفْع درجةِ حرارة جسمِ الإشعاع؛
٣. تخفيض درجةِ حرارة الجسمِ الماص؛ و
٤. تَرتيب الهندسةِ لتَقليل الإنعكاسِ الخلفيِ إلى جسم الإشعاع نفسه.

لكي نزيلَ بقع ساخنةَ محليّةَ يُمْكِنُها أتلاف اللوح أَو العناصر المُجَاوِرةَ، الإعتبار الخاص هنا هو وجوب تنسيبِ ترانزستوراتِ القدرة أَو مقاومات القدرة العالية. عموماً، مثل هذه العناصر يَجِبُ أَنْ تثبت قريبة من الإطارِ الذي يَعْملُ كمسرب حرارةَ heat sink.

لكي تبقى العناصر تحت درجةِ حرارة تشغيلها القصوى، يشرع ما يلي :

i) تحلّلُ الدائرةَ ونحْصلَ على تبديد القدرة الكهربائيةِ القصوى لكُلّ عنصر.

ii) تحديد درجة حرارة التشغيل الأقصى المتوقّعَة للسطح. الحَدّ الأعلى لدرجة الحرارة الجائزة معتمدة على وجود العزلَ بالإضافة إلى العناصر نفسها. التصميمَ يعمل حساب هذا مع الاحتفاظ بها في الذهن.

٣-٧-٢ التلوّث

Contamination:

يجب أنْ نحْمَى البطاقات الإلكترونية المطبوعة ضدّ الغبارِ، والاتساخات، والتلوّث، والرطوبة، والرذاذ الملحي وسوء الإستخدام الميكانيكي. هناك العديد من المركّباتَ العازلةinsulating compounds التي يُمْكِنُ أَنْ تُطبّقَ كطلاءات وقائية. المركّباتَ المستعملةَ عموماً هي بوليبوريثانس polyurethanes ، والسيليكون silicones، والأكريليك acrylics ، والبوليسترين polystyrenes والورنيشيات varnishes. ما يلي هو عبارة عن الإعتباراتُ الفنية الواسعةُ المشاركة في إختيارِ الطلاء الوقائي:

i) القدرة على مَنْع التآكلِ وتَزويد الحمايةِ للوح؛

ii) المرونة — مقاومة التَصَدُّع أثناء الصدمةِ؛

iii) التطبيق والمعالجة السهلة؛

iv) الشفافية — لتَمْكين رؤية علامات عناصر اللوح؛ و

v) قابلية الأستخراج بسهولة لتَصليح تجميع توزيع الأسلاك المطبوعةِ — تأثير أدنى نتيجة لسُمكها على خصائص كهربائيةِ مهمةِ مثل عاملِ التبديد، وثابت العزل.

سُمكَ الطلاءاتِ على ألواح الدوائر المطبوعة PCBs للتطبيقاتِ العسكريةِ مَحْكُومةُ بموجب المعيار MIL-I- 46058. للتطبيقاتِ العامّةِ، السُمك نموذجياً هو ٠.٠٧٥ مليمترُ حَدّ أدنى و٠.٢٥ مليمترِ حَدّ أعلى.

٣-٧-٣ الصدمة والإهتزاز

Shock and Vibration:

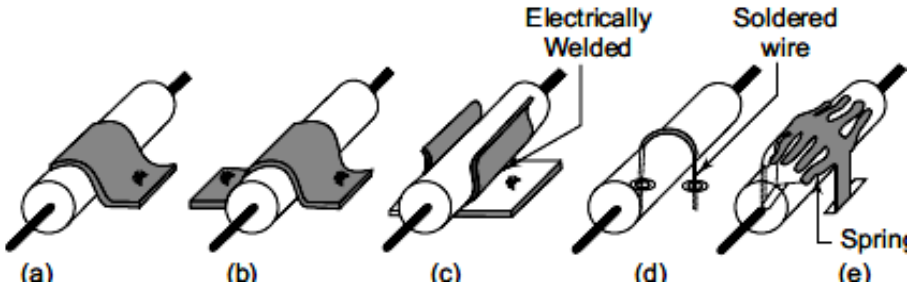
الإهتزاز Vibration والمرونة flexing والإنحِناء bowing هى عبارة عن مشاكلَ تتصادف عادة على الألواحِ الأكبرِ. يمكن تقليل تأثيرات الإهتزاز والإلتواء warping بالضبط بنفس الطريقة كما يتم في أيّ شكل آخر من الهندسة والحلول المشابهة يُمْكِنُ أَنْ تستَعمل. الأجزاء التي قَدْ تَكُونُ معرضة للفشلِ بسبب صدمة أَو إهتزاز يَجِبُ أَنْ يُحدّد لهما مكان بالقُرْب من المناطقِ المدعومةِ مِنْ اللوح كلما أمكن. التَشبيك Clamping أو التطويق strapping قَدْ يتطلّبُ لتَثبيت أو مسك العناصر بشكل صحيح في أماكنها.

إحدى المشاكلِ المُصَادَفةِ عموماً بسبب الإهتزازِ أَو الإنحِناء هى إمكانيةُ العناصر بالحالاتِ الحيّةِ بشكل كهربائي تأتي في تماس مع نقاط ملحومة على ظهر اللوح المجاور. مثل هذا الخطرِ يتم تجنبهُ بتركيب اللوح مَع مباعدات spacers طولها أكبر مِنْ أيّ مِنْ العناصر الإلكترونية / الاغلفة في الأماكنِ المناسبةِ.

تصميم ألواح الدوائر المطبوعة PCBs التي سَتتعرض إلى الإهتزازِ أثناء خدمتها يَتطلّبُ إعتبار خاص (IPC 2221-p.27/28) للتشكيل العملي layout للوح. العناصر الضخمة Bulky أَو الثقيلة heavy تَحتاجُ تنبيه معيّن. مالم يكن لديها العديد مِنْ الأدلّةِ أو الاطراف، من الضروريُ لإستقرارها إلى اللوح مَع بعضِ العناصر. مثل هذه الترتيباتِ موضحة في الشكل رقمِ (٣-٢٩).

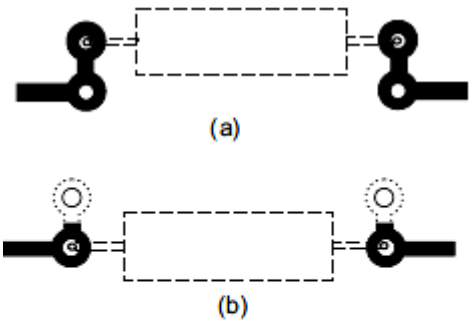
التعليمات guidelines التالية يَجِبُ أَنْ تُلاحظَ أثناء تصميمِ الألواحِ المطبوعةِ لإزالة حالاتِ الإهتزازِ المؤدي الى الفشل لتجميعات لوح الدائرة المطبوعة PCB :

١. الإرتفاع المتزايد للعناصر حرة الطرف (الواقفة) يَجِبُ أَنْ يُلتَزمَ بحَدّ أدنى.
٢. الدعم الإيجابي لكُلّ العناصر التي تزن ثقل أكثر مِنْ ٥ جرام/ طرف يَجِبُ أَنْ تعتَبرَ عندما يتعرض اللوح إلى الإهتزازِ.
٣. عازلات الإهتزازِ Vibration isolators يجب أنْ تؤخذ بعين الإعتبار لتثبيت الوحداتِ، حينما تركب عملياً.
٤. اللوح stiffeners و/ أَو اللب المعدني metal cores يَجِبُ أَنْ يَكُونا في الاعتبار لتَخفيض إمالةِ أو انحراف اللوح.



شكل رقم (٣-٢٩) يوضح الطرق الشائعة لتثبيت العناصر الثقيلة إلى اللوح : (a) مشبك أحادي الجانب، (b) مشبك مزدوج الجانب،(c) ماسك ملحوم كهربائياً، (d) تثبيت بسلك ملحوم، (e) مسك بشريط زنبركي.

إذا كانت الأجهزةِ التي فيها لوح الدائرة المطبوعة PCB مثبت، قد خضعت لصدمات، إهتزاز، الخ. فإن الأدلّةُ أو الاطراف المولدة بواسطتها يمكنها خلع الوسائد بسهولة من ألواح الدائرة المطبوعة أحادية الجانب. هناك طريقة وحيدة لمَنْع مثل هذا الانهيار هو بتكبّيرَ مساحة الوسادةَ للإرتباط بالعناصر الكبيرةِ. بدلاً عن ذلك، يُوصي بتَزويد وسادتين وهميتين dummy pads كالمعروض في الشكل رقمِ (٣-٣٠). إذا تقشرت إحدى الوسادتين، فإنه يمكن اصلاح اللوح بسهولة بلحام العنصر إلى الطرف الوهمي. الممارسة الأفضل تتم باستعمالَ برشام قمعي funnel eyelet إلى الفتحاتِ المستعملة لتثبيت العناصر الثقيلةِ. هذا يعطي مقاومةُ ميكانيكيةُ أكبرُ لتطبيق الأحمالِ إلى PCB خلال طرف العنصر.



شكل رقم (٣-٣٠) يوضح استخدام الوسائد الوهمية للمساعدة في اصلاح الألواح. العنصر الثقيل يتم تجميعه كما في (a) إذا تقشرت الوسادة ، ويمكن تثبيتها مرة أخرى كما في (b).

٣-٨ متطلبات التبريد وكثافةِ التغليف

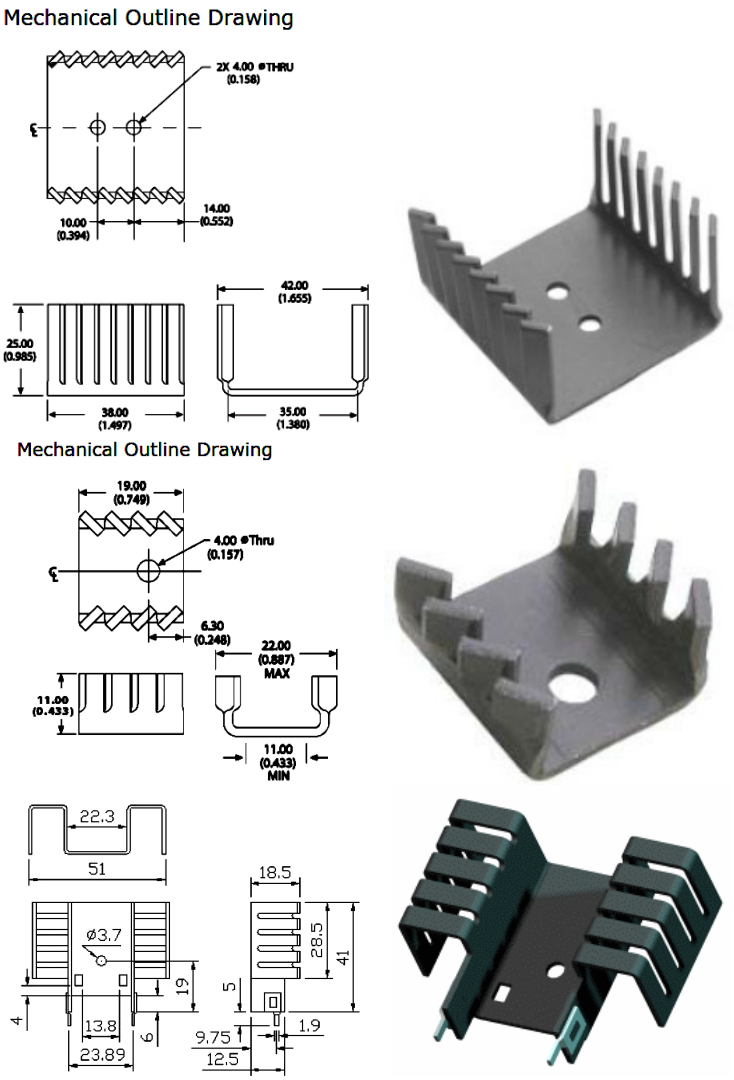
:Cooling Requirements and Packaging Density

٣-٨-١ مسربات الحرارةِ

:Heat Sinks

الإدارة الحرارية سمةُ مهمةُ في تصميمِ البطاقات الإلكترونيةِ المطبوعةِ. التصميم يَجِبُ أَنْ يعالج مشاكلَ توزيعِ الحرارةِ وإزالتها في الأنظمةِ التي تستخدم الدوائر المتكاملة. على سبيل المثال، كثافة العنصر غالباً ما تكون أعلى مَع تكنولوجيا التجميع السطحي SMT، حيث يُؤدّي هذا إلى تبديد قدرة أكبر لكل بوصة مربعة من لوح الدائرة المطبوعة. وبالإضافة، العناصر المباعدة بمسافات ضيقة تجعل تبريد الهواء المدفوع أقل كفاءة. لذا، فإن ترتيب التدفقِ الهوائي يجب أنْ يُصمّمَ حتى يُمْكِنُه أَنْ يدفع كمية من الهواءِ يمكنها الحد من إرتفاعِ درجةَ حرارة اللوح خارج الحدِّ الجائزِ. الثقة يُمْكِنُ أَنْ تخفّضَ مالم يسترعي إنتباه خاصّ يُدْفَعُ إلى الإدارةِ الحراريةِ المناسبة. على سبيل المثال، في الألواح المتعددة الطبقات، كُلّ التوصيلات البينية interconnections يُمْكِنُ أَنْ تَوْضَعَ على الطبقاتِ الداخليةِ ومسرب حراري سميك، نحاس صلب أَو اى مادّة أخرى يُمْكِنُ أَنْ يُوْضَعا على الأسطح الخارجيةِ. العناصر يُمْكِنُ أَنْ تثبت مباشرة على السطحِ المعدنيِ.

الفضاء أو الفراغ الحر الكافي يَجِبُ أَنْ يُزَوّدَ حول المسربات الحرارية heat sinks ، شكل رقم (٣-٣١)، لتَحسين الكفاءةِ. لا يجب تثبيت عنصر ضخم بالقرب من مسرب حراري حيث أنه قد يعرقل التدفق الهوائي الحر. عموماً، العناصر المولدة للحرارةِ تَرْفعُ إلى مستوى أعلى فوق اللوح. حيث أن هذا يَمْنعُ وصول الضررَ إلى العنصر واللوح نفسه. في حالة تثبيت لوح الدائرة المطبوعة بشكل عمودي، هناك مسربين للحرارةِ لا يَجِبُ أَنْ يكُونا مُصَمَّمان ومثبتان الواحد فوق الآخر. لكي نضْمنَ التبادلَ الأقصى مِنْ الحرارةِ في مسربات الحرارةِ بشقوقِ أحادية الاتجاه unidirectional، التدفق الهوائي يَجِبُ دائماً أَنْ يَعْبرَ مسرب الحرارةَ في نفس إتّجاهِ بناء الشقوقَ.



شكل رقم (٣-٣١) يوضح أنواع من المسربات الحرارية.

٣-٨-٢ كثافة التغليف

Packaging Density:

ليس هناك صيغة بسيطة لإقتِراح كثافةِ التغليف القصويةِ أو المثلي على لوح الدائرة المطبوعة PCB. على سبيل المثال، إذا كانت الكثافةِ منخفضةُ جداً، فإن مساحة اللوح المطبوع PCB الأكبر

أَو العدد الأعلى من ألواح الدوائر المطبوعة PCBs سَيَكُونُ مطلوب لإدْراك أو تحقيق نفس الدائرةَ. هذا سَيُؤدّي إلى حجمِ أكبرِ مِنْ الأجهزةِ، والمزيد من المقابس والمزيد من توزيع الأسلاك مع التأثيراتِ الأكثرِ طُفيليةً على عَمَل الدائرةِ، وبذلك يُؤدي إلى خفّضُ الثقةً بينما يدَفْع التكلفةِ لأعلى. من الناحية الأخرى، ستعطي كثافة التغليف العاليةِ جداً سَتَعطي درجاتَ حرارة الدائرةِ الأعلى، والمزيد من تداخل الحديث وصعوبة التَصليح (الخدمة) والصيانة، ومن المحتمل معدل لفظ أو رفض أعلى في إنتاجِ لوح الدائرة المطبوعة PCB. وهذا مرة ثانية يُسقطُ الثقةَ ويَجْعلُ التكلفةَ أعلى.

إنّ كثافةَ التغليف تُفْرَضُ عادة مِن قِبل:

١. الغرض والإستعمال والتطبيق للأجهزةِ — سواء ذات التركيب الثابت، أو النقّالة – أو المحمولة جواً؛
٢. الحرارة المتولدة وإدارة التُبرّيدُ — تدفق هواء طبيعي، التَبريد الاجباري أَو الوحدة المُغلقة بشكل سحري؛
٣. نوع العناصر على اللوح؛
٤. تكنولوجيا العناصر سواء كانت منفصلة، أو SSI ، أو LSI ، أو VLSI، أَو SMT؛ و
٥. نوع اللوح المطبوع PCB المستعمل (كثافة التوصيل البيني interconnection density) — سواء أحادي الجانب أو مزدوج الجانب أو متعدد الطبقات.

تُفضّلُ الألواح المتعددة الطبقات متى كانت كثافاتَ العنصر المحتملةَ مع الألواحِ ثنائية الجانب لَيستْ كافيةَ. على سبيل المثال، في اللوح الثنائي الجانب، الحَدّ الأعلى العادي هو ٢.٠ TO علبِ لكلّ بوصة مربعة التي يُمْكِنُ أَنْ تُزادَ إلى أكثر مِنْ ٣. في بَعْض التصميمات، من المحتملُ مُضَاعَفَة كثافة العنصر في ألواحِ متعددةِ الطبقات بالمقارنة مع الألواحَ ثنائيةَ الجانب، بدون زيَادَة appreciably لحجم التوصيلات البينية interconnections .

كتعليمات التصميمِ العامّةِ، كثافة التغليف للوح المطبوع PCB يُمْكِنُ أَنْ تُخَمّنَ مِنْ عددِ فتحاتِ تثبيت العناصر لكلّ بوصةِ مربّعةِ مِنْ السطحِ الصالح للإستعمالِ. هذا الرقمِ يساوي ٣ –١٠ فتحة / بوصة مربعة للألواح الوحيدة الجانب، و١٠–٢٠ فتحة/ بوصة مربعة للألواحِ ثنائيةِ الجانب وأكثر مِنْ ٢٠ فتحة / بوصة مربعة للألواح المتعددةِ الطبقات.

إنّ كثافةَ التغليف تُحْكَمُ أساساً بواسطة:

١. الشكل العام للوح والمقاس والتكوين؛
٢. نوع الإسكان housing أو المضمّنِ enclosure الذي فيه لوح PC سَيثبت أخيراً؛
٣. طرق الربط الميكانيكي، وبمعنى آخر: أدلة البطاقة card guides، و stand-offs ،. الخ. ؛
٤. إنهاء المدخل / المخرج، وبمعنى آخر: نوع المقبس connector type، سلك الكابل cable wire ،.. الخ. ؛
٥. درجة الدعمِ، وبمعنى آخر: الإحتفاظ retention والربط fastening؛
٦. متطلبات إزالةِ البطاقةِ، وبمعنى آخر: نازعو البطاقةِ card extractors أَو أدواتِ نزع خاصّةِ للمُسَاعَدَة في إزالةِ أو رفع اللوح مِنْ المضمّنِ enclosure؛
٧. مقدرة الوصول المطلوبة للعناصر القابلة للتعديلِ أو الضبط؛
٨. متطلبات تبديد الحرارةِ؛
٩. متطلبات التحجيب أو الحماية، وبمعنى آخر: توافق دائرةِ بالدوائرِ الأخرى والبيئةِ؛
١٠. نوع الدائرةِ وعلاقتِها مع الدوائرِ الأخرى، وبمعنى آخر: التنسيب والمساحة المطلوبة؛
١١. الإعتبارات البيئية مثل الرطوبةِ والإهتزازَ والصدمةَ، ورذاذ ملحِ، والغبار والإشعاع.. الخ؛ و
١٢. مقدرة التصنيع Manufacturability، وبمعنى آخر: كلفة وحالة التصنيع.

٣-٨-٣ شكل التغليف والخواصِ الطبيعيةِ

Package Style and Physical Attributes:

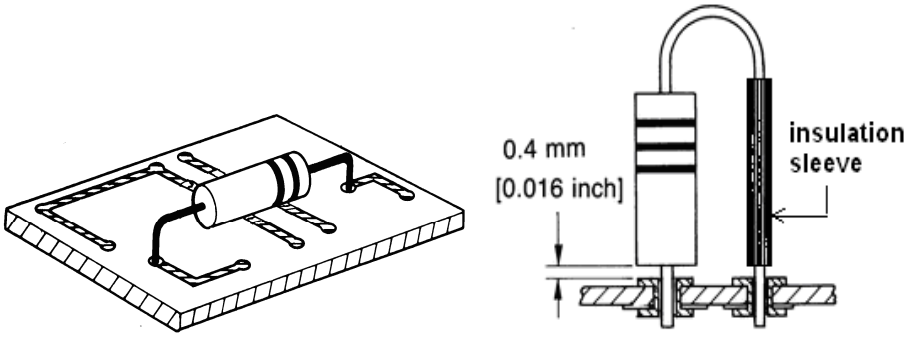
كُلّ نظام إلكتروني يَشْملُ أجزاءِ مُخْتَلِفةِ متضمنة عناصر إلكترونيةِ، ووصلات مواجهة interfaces ، واوساط خزنِ إلكترونيةِ electronic storage media وتجميع اللوح المطبوع. إنّ تعقيدَ هذه الأنظمةِ منعكسُ في كل من نوع العناصرالمستعملَة وتركيبِ التوصيل البيني.

تُجمّعُ العناصر عموماً إلى الأصنافِ التاليةِ:

١. العناصر محورية الاطراف Axial lead components؛
٢. العناصر شعاعية الاطراف Radial lead components؛
٣. العناصر سطحية التثبيت Surface mounted devices؛ و
٤. العناصر الكهروميكانيكية Electromechanical components .

العناصر محورية الاطراف :

هى النوعَ الأكثر شيوعاً. يَشمل المقاوماتَ، وبَعْض أنواعِ المكثّفاتِ والثنائيات. لتَثبيت العناصر، الأدلّة أو الاطراف leads تَحني تقريباً بزاوية مقدارها ٩٠° وتُدخلُ إلى الفتحاتِ على لوح الدائرة المطبوعة PCB حيث يتم لحامها. المدى span بين الطرفين يَعتمد على طولِ الجسمِ، قطر الطرف والطول حتى الإنحناء. إذا كان العنصر المحوريِ مطلوبُ لكي يثبت بشكل عمودي، فإن أحد الطرفين يظل بدون ثنى بينما الاخر يُحني بشكل عمودي مثل دبوس شعر ويُعْزَلُ عموماً بأنبوب من البلاستيك أو أى عازل كما تم ذكره سابقاً، والشكل رقم (٣-٣٢) يوضح ذلك.

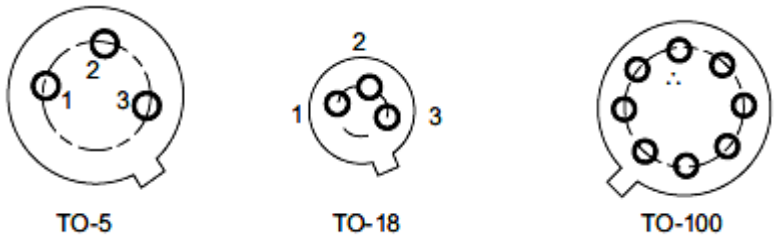


شكل رقم (٣-٣٢) يوضح كيفية تثبيت العنصر محوري الاطراف عمودياً وضرورة ابعاد جسم العنصر عن سطح لوح الدائرة المطبوعة.

العناصر شعاعية الأطراف :

لديها أدلّةُ أو أطراف عمودية على جسمِ العنصر وتتضمّن أنواعاً من المكثّفات، والمقاومات المتغيّرة، والعناصر النشيطةُ active devices مثل الدوائر المتكاملة ICs ، والترانزستوراتَ transistors وبَعْض العناصر الكهروميكانيكية مثل المفاتيحَ switches، والمرحلات relays، والمقابس connectors،.. الخ. الترنزستورات في هيئة التغليف TO تَلْحمُ عادة إلى عنقود من الوسائد، الشكل رقم (٣-٣٣). الدوائر المتكاملة غالباً ما تثبت على قاعدة، التي لَها أدلّةُ أو أطراف منتشرة لكي تسْقط على شبكة. التغليف الثنائي الصف Dual-in-line package (DIP) التغليف الاشهر للدوائر المتكاملة والاكثر استعمالاً، التغليف القياسي DIP لَه ٨، ١٤، ١٦، ٢٠، ٢٤، ٢٨، ٤٠، و٦٤ طرف دبّوسي. هذا التغليف له إثنان مِنْ صفوفِ الأدلّةِ أو الأطراف مَع الفصل بين الطرف

والطرف بمقدار ٢.٥ مليمترِ (الخطوة pitch) خلال الصفّ ومباعدة مِنْ ٧.٥ /١٠/ ١٥ مليمتر بين الصفوفِ.



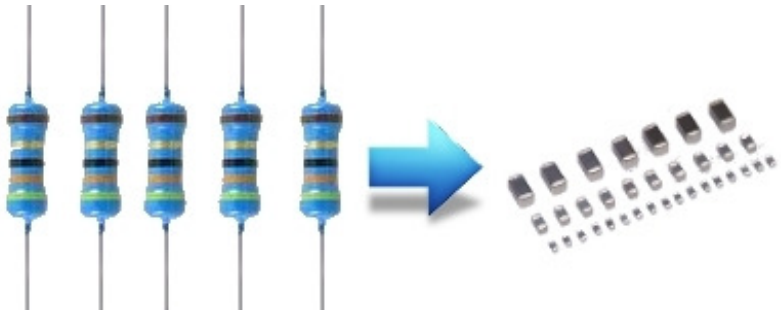
شكل رقم (٣-٣٣) يوضح طبعات القدم للأغلفة شعاعية الاطراف.

العناصر المحورية والشعاعية تَعُودُ إلى العناصر التقليدية conventional components أو المثبتة من خلال الفتحات through-hole components type وهى تعتمد على إدخال الطرف في فتحة مثقبة للربط الميكانيكي بمساعدة اللحام، لحام الطرف إلى وسادة لحامِ على اللوح المطبوع للربطِ الكهربائيِ.

العناصر الأكثر تعقيداً، كما هو محدد من قبل كمية أطراف المداخل / المخارج ، الأكثر تعقيداً هو التوصيل الداخلي للبنية التحتية interconnecting substrate.
العديد مِنْ العناصر ذات الاطراف المحيطية منخفضة المداخل/المخارج مثل عناصر المنطقَ والذاكرةَ حوّلتْ إلى صيغِ تغليف مصفوفة المساحة area array مثل التغليف BGAs والتغليف الدقيق الخطوة fine pitch BGAs.

تكنولوجيا التثبيت السطحي
Surface Mount Technology (SMT)

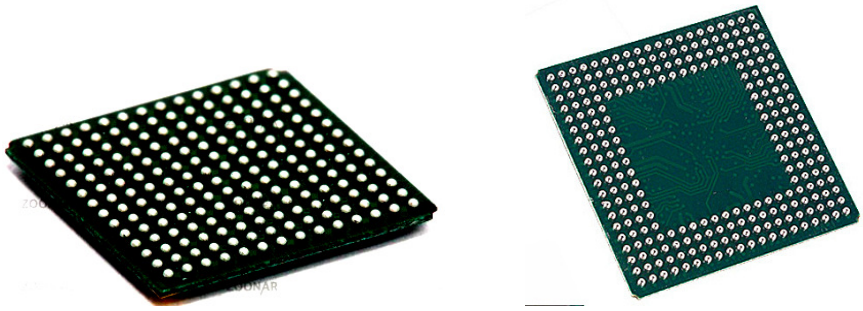
عناصر التثبيت السطحي لَها أدلّةُ أو أطراف باسطحِ مستويةِ. هذا تم لْحامه إلى وسائد اللحام والتي يطلق عليها نقاط هبوط lands. يوضع ويثبت العنصر على سطحِ اللوح بدلاً من ادخَالَ اطرافه للجانب الآخر من اللوح لتثبيتها باللحام. تكنولوجيا التثبيت السطحي (SMT) تَقدّمتْ إلى المرحلة التي فيها تم تصنيع أغلبية العناصر الإلكترونيةِ اليوم ومتوفرة فقط في شكلِ عناصر سطحية التثبيت، الشكل رقم (٣-٣٤) يوضح الفرق بين العناصر السطحية والتقليدية.



شكل رقم (٣-٣٤) يوضح العلاقة بين العناصر التقليدية والعناصر سطحية التثبيت.

تغليف BGA :

أغلفة المصفوفة مثل BGA والأغلفة BGA فائقة الخطوة ، الشكل رقم (٣-٣٥)، هما الآن يعتبرا آخر اصدارت تكنولوجيا أغلفة العناصر ذات المداخل/المخارج الكثيفة مثل دوائر الذاكرة، والمعالجات، وFPGAs. المصفوفات الشبكية العمودية والكرة Ball and column grid arrays تمت معايرتها في عام ١٩٩٢ مَع خطوات تقدر بحوالي ١.٥، ١.٢٧ و١.٠ مليمتر. معايير أغلفة المصفوفة BGA الدقيقة الخطوة أَسّستْ لخطوات مقدارها ٠.٨، ٠.٧٥، ٠.٦٥، و٠.٥ مليمتر. تغليف مصفوفة المساحة لَهُ القيمة الذاتيةُ التي تجعله تصميم متماسك. إشارة الدخل/الخرج للأداء العالي للأغلفة BGAs هى حوالي ٢.٥ مرة مِنْ المطلوبة عموماً للـ BGAs المستعملة في المُنتَجاتِ المحمولة يدوياً hand-held products. تغليف BGA يعتبر مفيدُ أكثرُ لتصميم اللوح المطبوع PCB ذو التردد العالي.



شكل رقم (٣-٣٥) يوضح أغلفة المصفوفة مثل BGA والأغلفة BGA فائقة الخطوة.

العناصر الكهروميكانيكية :

يَتضمّنُ هذا الصنفِ مِنْ العناصر المرحلات relays ، والمحولات transformers ، والمقابس connectors ،.. الخ، الشكل رقم (٣-٣٦). عُموماً، وهى لا تتبع أى شكل نوعي من أشكال الاطراف، لكن لَهُا معيارُ طبعة أو أثر القدم على شبكة هندسية، ماعدا المحولات.



شكل رقم (٣-٣٦) يوضح بعض أنواع العناصر الكهروميكانيكية

٣-٩ تصميم الشكل العملي

Layout Design:

الشكل العملي layout للدائرةِ المطبوعة هو أساساً عبارة عن تخطيط يُمثّلُ توزيع الأسلاك المطبوعَة على البنية التحتية (اللوح المدعوم)، وتحديد المقاس الطبيعي والموقع لكُلّ العناصر الإلكترونية والميكانيكية وتوجيه الموصلات التي تقوم بالتوصيل البيني للأجزاءَ الإلكترونيةَ. عملياً، الشكل العملي layout للوح المطبوع PCB يَجِبُ أَنْ يَدْمجَ كُلّ المعلومات على اللوح قبل أن يتمكن أحد من الاستمرّار في تحضيرِ العمل الفني artwork preparation . هكذا، يجب على مصمم الشكل العملي layout أَنْ يَكُونَ ملماً بمفهومِ التصميمَ، وتفاصيل الدائرةِ والفلسفةِ وراء الأجهزة.

العناصر والتوصيلات في الشكل العملي layout للوح الدائرة المطبوعة مُشتَقّ مِنْ الرسم التخطيطِي للدائرةَ circuit diagram ، ووَضعَها جسدياً وتوجيه موصلاتها مِن قِبل المصممِ للحُصُول على أفضل نتيجةِ. يُعرّفُ الشكل العملي layout للوح الدائرة المطبوعة بأنه التكوين الطبيعي النهائي

للدائرةِ، والمضمّنِ وتعريف تفاصيلِ الأجهزةِ يُمْكِنُ من ثمّ أن يَكُونوا مُنهيةً كالشكل العملي layout المُكتمَلُ.

لكي نتأكد أنّ الشكل العملي layout الجيد قد تم الوصول إليه، يجب على مصمم الدائرةَ الحصول على معلومات مصمم الشكل العملي layout للوح الدائرة المطبوعة في النقاط التالية:

١. الرسم التخطيطي بشكل جيد مع العددِ الأدنى لنقاط التقاطع cross-overs والحلقات loops؛
٢. عدم توافق مساحات الدائرةِ، وبمعنى آخر: حيثما يكون العزل لدائرةِ واحدة يكون مطلوب مِنْ أخرى؛
٣. عدد وموقع التوصيلات الخارجيةِ اللّذان يُستَعملانِ مع التوصيل البيني للنظام، بينما هذا يَلْعبُ دوراً مهماً في تَحديد موقعِ أطراف المدخل، والمخرج، والأرضي؛
٤. نقاط تماس اللوح يَجِبُ أَنْ تُعَيّنَ أو تسمى بشكل عددي / أبجدياً على الرسم التخطيطي schematic للسهولة والتعريف الخالي من العيوب؛ و
٥. التحجيب والأرضي اللذان موضحان بشكل واضح، خصوصاً إذا كانا مستعملان لتَخفيض التداخل أَو الضوضاء مِنْ خلال الإزدواج couplings.

مثل هذا النوعِ مِنْ المشاكلِ لا يَظْهرُ في الشركاتِ الصغيرةِ حيث يقوم نفس المهندسِ بتصمّيمُ الدائرة وتنفيذها خلال مرحلةِ الإنتاجَ.

تصميم الشكل العملي layout عبارة عن عملية معقّدة حيث يَجِبُ أَنْ تَأْخذَ في الحسبان متطلباتَ وقيود مختلفةَ. الإعتباراتَ العامّةَ لتصميم الشكل العملي layout الجيدِ هى:

١. نوع المُنتَجِ (الجودة المطلوبة، وإعتبارات الأمانَ والثقةَ، ومعايير قابلة للتطبيق، والموافقات المطلوبة.. الخ.)؛
٢. حجم الإنتاجِ المتوقّعِ؛
٣. وسائل وإمكانيات التجميع سويّاً مع الدرجةِ المرغوبةِ مِنْ الأتمتةِ؛
٤. إعداد الصيانةِ (مباني المصنعِ، وسائلَ الصيانةِ المدفوعة الاجر وعند مكان الزبونِ)؛
٥. بيئة التشغيل (الخزن والصدمة والإهتزاز)؛
٦. إدارة النقلِ؛
٧. الإعتبارات/القيود الكهربائية مثل الحجاب الكهرومغناطيسي، وتداخل الحديث بين الموصلات؛

٨. العناصر / الوحداتَ الموصولة تَتطلّبُ وصولاً سهلاً؛
٩. إعتبارات إزالةِ الحرارةِ؛ و
١٠. متطلب العزلِ بين لوح الدائرة المطبوعة PCB أَو عناصرها المثبتة وأى جزء معدني آخر في التجميع .

بينما يخرج تصميمَ الشكل العملي layout للنور، قَدْ يَكُون هناك العديد مِنْ الأسبابِ لوضع قسم من دائرة على حِدة، مثل تبديد الحرارةِ، الحِماية ضد الكهرومغناطيسية (التحجيب)، نوع تكنولوجيا التجميع، ملاءمة تشغيل المنتج النهائي، قابلية الصيانة،... الخ. في مثل هذه الحالاتِ، دائماً من المُسْتَحسن ضم مهندسي جودة في المشروعِ بينما العَمَل على سماتِ هذا التصميمِ.

يجدر بالذكر أن الشكل العملي layout للدائرة المطلوب تنفيذها على لوح دائرة مطبوعة كان عملاً غاية في الاهمية وكان يأخذ الوقت والجهد للحصول على الشكل العملي الذي يتناسب مع وظيفة وظروف الدائرة المطلوب تنفيذها. إلا أنه الآن وقد صدرت العديد من البرمجيات العاملة في تصميم الشكل العملي للوح المطبوع مع تطوير العناصر الالكترونية أصبح لدينا الكثير من أنظمة التصميم بمساعدة الحاسبِ computer-aided design (CAD) والتَطَوّرات في الأجهزةِ والبرامجِ ل CAD خفّضَ صلة التخطيطِ العملي فقط لبضع حالات خاصّة مثل العنايةِ في وضع الابعاد dimensioning لسعة حمل التيار، التصميم الحراري، الخ.

٣-٩-١ نظام شبكةِ الرسم

Grid Systems:

عموماً نظامَ الشبكةَ يُستَعملُ عملياً في تصميمِ الشكل العملي للوح الدائرة المطبوعة. مباعدة الشبكةِ القياسيةِ ٨ × ٨ أَو ١٠ × ١٠ من البوصةِ المربعة، وكُلّ بوصةِ مقسمة إلى أصغر قيمة من رسم العناصر والمسارات والوسائد. إستعمال نظام الشبكة لَهُ العديد مِنْ الفوائدِ الموفّرة للوقتِ. على سبيل المثال، مكوّنات مصنّعة بأدلّتِها أو أطرافها إلى تقاطعاتِ الشبكةِ وأجهزةِ الثقب المسيطر عليهاِ بشكل عددي يُمْكِنُ أَنْ تَكُونَ مُبَرمَجة بسهولة وفقاً لذلك. أيضاً، من السّهلِ جداً عَزْل الأقسامِ الرئيسيةِ مِنْ الدائرةِ على ورقةِ الشبكةِ ولتَنفيذ تعديلاتِ بسيطةِ على نفس الشيء.

أنظمة الشبكةِ هذه تعتبر أساسية دائماً وتُزوّدُ بلا تفاوت. عندما لوح مطبوع مطلوبة لِكي تَكُونَ مِنْ شبكة، يتم وضع أبعادها بشكل منفرد . يجب أن تحدد اصغر قيمة increment من الشبكةَ على الرسم الرئيسي master drawing . إختيارَ أصغر قيمة في الشبكةِ مستند على الموقعِ الطرفي المكوّنِ لعناصر الثقوب الخلالية through-hole components ، وعلى مركزِ العنصر لعناصر التثبيت السطحي.

٣-٩-٢ مِقياس الشكل العملي

:Layout Scale

مِقياس الشكل العملي Layout مُختَارُ بالإعتماد على الدقةِ المطلوبة. يُمكنُ أَنْ تكُونَ ١:١، ٢:١ أَو حتى ٤:١. والأفضل إعداداً على نفس المِقياسِ كالعمل الفني artwork، الذي يُقلّلُ المشاكلَ التي قَدْ تَكُونُ سببها إعادة رسم التخطيطِ العملي إلى مِقياسِ العمل الفني artwork scale وتُسهّلُ تَدقيق أيضاً التخطيطِ العملي النهائي.

مقياس الشكل العملي التطبيقي عموماً/ العمل هو ٢:١. هذا يقدم مساومة جيدة بين الدقة المنجزة وراحة المعالجة. قَدْ يُتذكّرُ أنّالعمل الفني ٢:١ لَهُا ٤ x من مساحة لوح الدائرة المطبوعة الفعلية. المقياس ٤:١ الذي يَعطي ١٦ x من مساحة لوح الدائرة المطبوعة يكون مطبق في الحالاتِ الخاصّةِ حيث تكون الدقّة العالية جداً مطلوبةُ.
إذا تم تنفيذ الشكل العملي بمقياس رسم ٢:١، وحدة الشبكةِ الواحدة سَتَكُونُ ٥ مليمترِ. عندما يؤسس نظام الشبكةَ على ٢.٥ مليمترِ مُعتَبَرُ كخشن جداً، فإن وحدات الشبكةِ ١ مليمترِ يَجِبُ أَنْ تُتبنّى. الشكل رقم ٣-٣٧ يوضح التغليف ثنائي الخط (Dual-in-line-Package) DIP مرسوم في الشكل العملي.

٣-٩-٣ رسم الشكل العملي/ التصميم

Layout Sketch/Design:

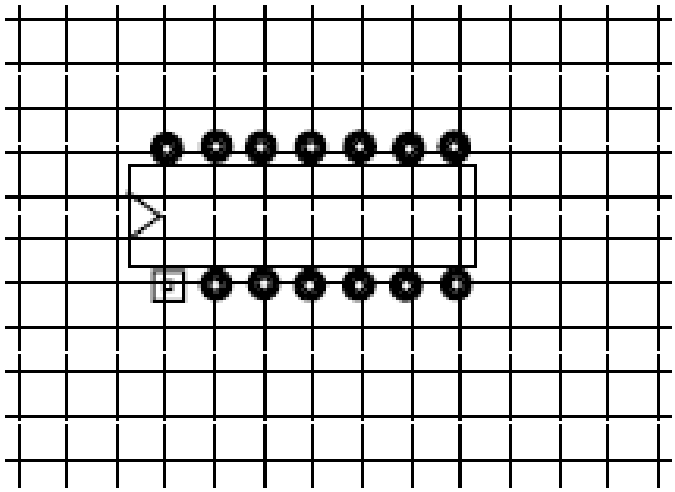
يعتبر تخطيطَ الشكل العملي للدائرةِ المطبوعِة الناتج النهائي end-product مِنْ تصميمِ الشكل العملي layout الذي يُصوّرُ العناصر وموصلات الربط البيني. وهو يُزوّدُ كُلّ المعلومات لتحضيرِ العمل الفني النهائيِ. إضافةً إلى هذا، يَتضمّنُ تخطيطَ الشكل العملي المعلوماتَ أيضاً عن فتحاتِ العنصر، عرض الموصل، المباعدة الدنيا بين الموصلات، الخ.

قَبْلَ أَنْ يبدأ المصمم العْملُ في الشكل العملي layout لتصميمِ لوح الدائرة المطبوعة، من المُسْتَحسن لإعداد رسم الشكل العملي أن يحفظ العواملَ التاليةَ في العقلِ:

- مقاس اللوح — يحدد بواسطة مضمّنِ enclosure الأجهزةِ أَو مفاهيمِ تصميمِ الوحدة modular؛
- الشكل العام للعنصر — متوفر في كُتُبِ البياناتِ data books ؛
- بيانات تثبيت العنصر — في حالة المركّباتِ الخاصّةِ، ربما تراجع كُتُب البياناتِ أو الحد الحراري ربما يتطلب تسريب حراري أو المقاس الكبيرِ لمكثّفاتِ فك الاتزدواج de-coupling capacitors؛
- التوصيل بين الأنماطِ؛
- عرض ومباعدة الموصل، تعتمد على المتطلبِ الوظيفيِ للموصل؛
- خطوط الحدودِ — عموماً ٠.٥ سنتيمتر يترك كهامش على كُلّ الجوانب؛
- المقابس — مقاس ونوع المقابس مستند على التوصيلات الخارجيةِ مثل وصلة تغذية الكهرباء ومخرج الإشارة، متطلبات الجهاز والأرضي؛ و
- ترتيبِ التثبيت — مسامير قلاووظ، مشابك، ..الخ.

تصميم الشكل العملي Layout دائماً هى عملية التجربة والخطأِ trial and error process مع العديد مِنْ التكرارِ، والعديد من رسومات الشكل العملي التجريبي يَجِبُ أَنْ يتم قبل مواصفاتِ التصميمِ النهائيةِ التي تقابلها والتصميمُ جاهزُ للتَسجيل لتحضيرِ العمل الفني artwork . عندما يُهيّئُ الشكل العملي، الإجراء هو أَنْ يُخصّصَ فراغات اختيارية للرموزِ على أساس مباعدة الشبكةِ.

على أية حال ، اساسيات القاعدة المشتركة انجزت لكُلّ الرموز من تلك التَشْكِيلةِ. الشكل رقم ٣-٣٧ يوضح العناصر المعروضة على شبكة.

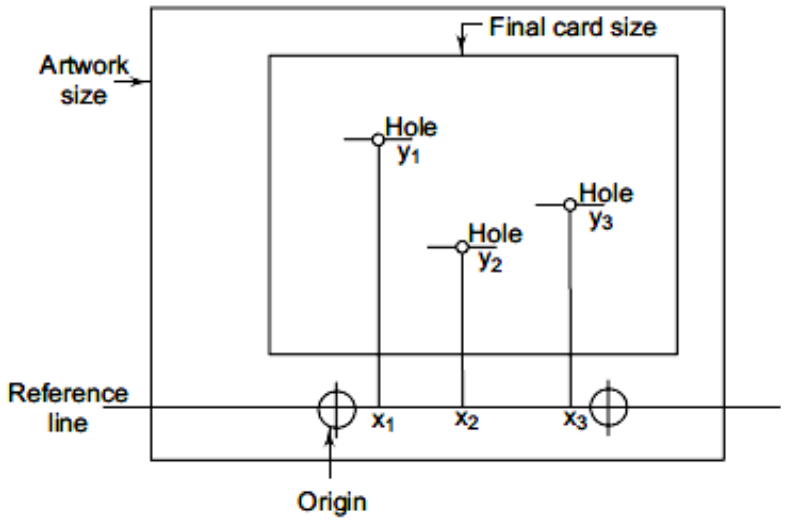


شكل رقم (٣-٣٧) يوضح التغليف ثنائي الصفين على الشبكة البيانية

٣-٩-٤ إعتبارات التخطيطِ العملي

:Layout Considerations

كُلّ الفتحات والوسائد في اللوح يجب أنْ تُرتّبَ طبقاً لنظام datum system. هذا ليس فقط مهم لكنه حرج في حالة الألواحِ متعددةِ الطبقات لأنه أثناء الصناعةِ، كُلّ طبقة يَجِبُ أَنْ تصطف مَع الآخرين. نظام datum system المثالي يتضح في الشكل رقمِ (٣-٣٨). وهو يجعل استعمالُ إصطفافِ نمطين وdatum أَو خَطّ إسناد، هناك علامات إصطفاف خاصّة / datum تَستعملُ والشكل العملي لكُلّ العناصر مستندة على هذه العلاماتِ. العوامل التالية يجب أنْ تُؤْخَذَ في الإعتبار:



شكل رقم (٣-٣٨) يوضح خط الاسناد في تحديد الابعاد على اللوح.

- ميّزْ موقعَ ٠/٠ datum لكي تكون كُلّ أَو أغلب خصائصِ اللوح في دّاخلِ منطقة الإحداثي الديكارتي الإيجابي.
- أَسّسْ أغلبيةَ الأجزاءِ ذات الخصائص البعدية واختارُ ذلك المفهومِ كالشبكة الرئيسية. عرف كُلّ الأجزاء التي لا تُلائمُ ذلك الوصف (سببه الإختِلاط بين الأجزاءِ المتريةِ والاجزاء المؤسسة على البوصة) كخارج الشبكة والرمز في حد ذاته في تعريف مكتبةِ كاد CAD .
- إعتبرْ متطلباتَ موقعِ فتحةِ التشغيل tooling لكل من الصناعةوالتجميع. إذا كان مقاس اللوح و/ أَو الكثافة تحرم فتحات التشغيل tooling الداخلية، قم بتقسيم الالواح إلى ألواح تشغيل panelize كجزء مِنْ التصميم، بفتحاتِ تشغيل tooling خارجية.

٣-١٠ قائمة تدقيق تصميمِ التخطيطِ العملي

Layout Design Checklist:

بعد إكتمال تصميمِ الشكل العملي للوح الدائرة المطبوعة، ينصح بالفحص لكل ماتم أثناء التصميم للتأكد من أن كل المتطلبات تم أخذها بعناية. في أغلب الأحيان المتطلبات قَدْ تَكُون معيّنةَ، لكن قائمة الفحص التالية تغطي المساحات العامة من أسباب القلق في دورةِ التصميمَ.

٣-١٠-١ الاعتبارات العامة

General Considerations:

الأسئلة التالية مَنْ الضَّرُوري أَنْ تُسْأَلَ:

١. هَلْ الدائرة حُلّلتْ وقُسّمتْ إلى الأجزاءِ المنطقيّةِ لتَحقق تدفقاً ناعماً للإشارة؟
٢. هل تم توزيع العناصر بشكل مناسب للحصول على كثافة تغليف منتظمة على كامل مساحة اللوح؟
٣. هَلْ تنسيب العناصر هَكَذا يُؤدّي إلى الأدلّةِ الحرجةِ القصيرةِ أَو المَعْزُولةِ؟
٤. هَلْ العناصر سهلة الوصول إليها للتبديلِ الأسهلِ؟
٥. هَلْ هناك فراغ حر متوفر للإمتدادِ أَو التعديلِ المحتملين في الدائرةِ ؟
٦. هَلْ مقاس اللوح يعتبر الأمثل؟
٧. هل أبعاد العرض المتغيرة ومباعدات الموصلات المستخدمة مفضلة، حيثما كانت؟
٨. هَلْ مقاسات الوسائد والفتحات المستخدمة مفضلة ؟
٩. هَلْ تم الاحتفاظ بالعناصر الحساسة بالحرارةِ بعيداً بمسافةِ كافيةِ عنْ العناصر المنتجة للحرارةَ؟
١٠. هَلْ مسربات الحرارة تم التزود بها، حيثما كان من الضروري؟
١١. هَلْ تدفق الهواء الحر يَعْبرُ خلال مسربات الحرارةَ؟
١٢. هَلْ السلك القافذ jumper احتفظ به عند الحَدّ الأدنى للطول؟
١٣. هَلْ الموصل الأبعد لَهُ المسافةُ الكافيةُ مِنْ حافةِ اللوح؟
١٤. هل الوصولُ إلى العناصر القابلة للتعديلِ (المهذبات trimmers ، الاعداد المسبق pre-sets الخ.) ممكناً؟
١٥. هَلْ تم الاشارة لنقاط الإختبار؟
١٦. هل يُمْكِنُ بسهولة توصيل أجهزةَ الاختبار إلى اللوح، ومثال على ذلك: – التَشبيك على مجسات دوائر المنطقِ؟
١٧. هَلْ المناطق الأطول مِنْ النحاسِ تَتحطّمُ لمَنْع التَبْثير؟
١٨. هَلْ الحِماية مزودة بشكل عملي، أينما كان ضرورياً؟
١٩. هَلْ نوع الكتابة ومقاس الحروف المزُوّدَة حققت سهولة الرؤيةِ بعد التجميع؟

٣-١٠-٢ الإعتبارات الكهربائية

Electrical Considerations:

١. هَلْ هناك توافق كامل بين الشكل التخطيطي schematic والشكل العملي layout للدائرةَ ؟
٢. هَلْ تم تقسيم الدائرة إلى وحداتِ ثانويةِ وظيفيةِ على اللوح ؟
٣. هل تم تحليل تأثيرات المحاثّة الكهربائيةَ والسعةَ والمقاومة، خصوصاً الاسقاطات الجهدية الحرجة والأرضي؟
٤. هَلْ تدفق الإشارة ناعم مع التوصيلات البينية interconnections وقصير بقدر الإمكان؟
٥. هل الإجراءات الوقائية قصويةُ (مثلى) أُخِذتْ مثل الطولِ الأدنى، والتعليمات، والفصل الواضح لخطوط الدخل والخرج ؟
٦. هَلْ الموصل كافي التباعد ؟
٧. هَلْ عرض خَطِّ الأرضي كافي؟
٨. هَلْ تم تحقيق الإزدواج المقفل بين خطى التغذية والأرضي؟
٩. هَلْ أجزاء الدوائر التماثلية والرقمية لاتعتمد علي الخطوطِ الأرضيةِ؟
١٠. هَلْ القطبية في اللوح مميزة بشكل كافي؟

٣-١١-٣ الإعتبارات الميكانيكية

Mechanical Considerations:

١. هَلْ مقاس اللوح أمثل؟
٢. هَلْ مقاس اللوح متوافقَ مع عمليات تصنيع لوح الدائرة المطبوعة؟
٣. هَلْ هناك أجزاء غير مناسبة أَو ثقيلة مثبتة بشكل كافي؟
٤. هَلْ اللوح المثبت يلبّي متطلباتَ الإهتزازِ والصدمات؟
٥. هَلْ عدد أقطارِ الفتحات المختلفةِ حُدّدَ إلى الحَدّ الأدنى؟
٦. هَلْ المحطات الطرفية ومواقع السيطرةِ متوافقِة مع التجميع الكليّةِ؟
٧. هَلْ تم استخدام عناصر قياسي ذات أطراف لها خطوات قياسية؟
٨. هَلْ مزودة بفتحات تشغيل ؟

٣-١١ التوثيق

Documentation:

التوثيق يعتبر جزء أساسي في تصميمِ ألواح الدوائر الإلكترونيةِ المطبوعة وعملية التصنيع. عادة، أَسّستْ الشركاتُ النماذج norms والأستمارات forms والقوائمَ lists والملفاتَ files لهذا الغرضِ. على أية حال، بَعْض الرسومات تعتبرُ ضرورية لصيانةِ السجلاتِ الإسنادية. هذه مُفصّلة فيما يلي.

الشكل التخطيطي Schematic Diagram:

الشكل التخطيطي schematic diagram يعتبر العنصر الأكثر أهميةً للتوثيقِ الذي يُسايرُ تصميم الشكل العملي layout بينما يُمثّلُ التوصيلات البينية interconnection للعناصر المُخْتَلِفةِ للبطاقة الإلكترونيةِ المطبوعةِ. الشكل التخطيطي schematic diagram يَجِبُ أَنْ يُوضّحَ المتطلباتَ الخاصّةَ بشكل واضح التي مَنْ الضَّرُوري أَنْ تُعتَبرَ بينما يتم تصميمَ الشكل العملي layout. مثل هذه المتطلباتِ تَتضمّنُ: (i) مصادر الحرارةُ، وبمعنى آخر: العناصر التي من المحتمل أَنْ تنتجَ حرارةَ كبيرةَ ومطلوب وضعها بعيداً عن العناصر الحساسة للحرارةِ؛ (ii) خصائص الاشارة الحرجة من ناحية تَقليل طولِها، عرض الموصل الإعتبار وبند الحرّاسِة بالخطوطِ الأرضيةِ حول طرقِ الاشارة؛ و(iii) إنهاء الدخل/الخرج أَو المقابس التي يَجِبُ أَنْ تكونَ لديها مواقعُ مُحدَّدةُ مسبقاً وترتيبات تثبيت للوح الدائرة المطبوعة في الأجهزةِ. كُلّ هذه المتطلباتِ يجب أَنْ تُؤشّرَ بشكل واضح مع الأوامر الضرورية.

قائمة الأجزاء Parts List:

للدوائرِ البسيطةِ، لَيسَ غير شائع دَمْج مواصفاتِ العنصر في شكل الدائرةِ نفسها. على أية حال، لأغلب الحالاتِ، الأجزاء التي تُشكّلُ التجميع تُدرجُ في قائمة الأجزاء التي قَدْ تَتضمّنُ، إعتِماداً على المتطلبِ، المعلومات التالية:

١. التسمية الاسنادية Reference designation؛ مثل (R1, C1, C2 .. الخ)؛
٢. رمز المنتجِ أَو رقم الجزءِ؛
٣. وصف الصنف؛
٤. المواصفات المختصرة؛ و
٥. الكمية الكليّة.

الرسم الصناعي Fabrication Drawing:

يوضح رسم الصناعة الترتيبِ البعديِ للوح والمقاس وموقعِ الفتحات، ومواصفات العمليةَ والمواد. رسم الصناعةِ يَجِبُ أَنْ يوضح جانب بدون عناصر للوح الدائرة المطبوعة ويَجِبُ أَنْ يَتضمّنَ:

١. الشكل العام وسُمك اللوح؛
٢. المادّة (للوح والموصلات والتصفيح)؛
٣. مقاس وموقع الفتحةِ؛
٤. فتحات التسجيل والتثبيت مع المواقعِ والأقطارِ؛
٥. متطلبات الإختبار، والفحص والتأهيلَ؛ و
٦. بيانات التحكم في التغيير/ التعديلِ .

رسم التجميع Assembly Drawing:

يُصوّرُ رسم التجميع بطاقة إلكترونيةَ مطبوعةَ مُجمّعةَ مع كُلّ العناصر الكهربائية والأجزاء الميكانيكية المحتواه على تجميع معيّن. وهو يوضح اللوح والتعليمات. لألواح النموذج الاولي prototype boards، رسم التجميع قَدْ يَشْملُ العمل الفني للوح الدائرة المطبوعة PCB artwork الذي فيه تكون الأشكال العامة للعنصر والرموز أُضيفتْ.

العمل الفني Artwork:

العمل الفني هو ترتيبُ مَقيسُ بدقّة الدائرةِ المطبوعةِ والذي يُستَعملُ لعمل النمط الأصلي master pattern بشكل ضوئي photographically. هذا يوضح فقط تلك الاصناف التي يَجِبُ أَنْ تُحتَفظَ كنمط نحاسي في صناعةِ اللوح. وهو يَتضمّنُ كُلّ وسائد اللحام والموصلات فيما يتعلق بكل من الأبعاد والخلوص؛ وموقعها على اللوح. وهى تحْملُ رموزِ التعريف أيضاً وأنماط الإختبارُ الذي قَدْ يُتطلّبُ.

مِقياس العمل الفني Artwork Scale : **تخطيط الشكل العملي layout مهمُ جداً في حالة تصميم الشكل العملي يدوياً**، لأن التعديلَ، إذا كان مطلوبِ، فسيكون مُتعبُ وقَدْ يَستلزمُ إعادة العمل الفني من جديد. لكي يُقسّمَ مِقياسَ العمل الفني، من المفيدُ فَهْم متطلباتِ تصميمِ الدائرةَ ولتَقييم نفس الشكل منظّم على شكل قائمة تدقيق checklist . قائمة التدقيق قَدْ تَتضمّنُ:

١. مقاس اللوح بالمليمترات (يَأْخذُ بعين الإعتبار مكانَه النهائيَ في الأجهزةِ)؛
٢. شكل اللوح (إذا كان مَفْرُوضِ بشكلِ المنتج النهائي)؛
٣. عدد ونوع العناصر؛
٤. ترتيب التثبيت الميكانيكي؛
٥. تفاصيل التغذية الكهربائية من ناحية أنواعِ التغذية والتيارَ؛
٦. تيارات خَطِّ الاشارة؛ و
٧. مقاس مثقابِ العناصر.

عِدّة مصادر قَدْ تُساهمُ في خطأِ العمل الفني. الأكثر وضوحاً حدود البشر في وَضْع وسائد اللحامِ في المواقعِ المضبوطةِ، التَوازي بين الموصلات المرسومة أَو المطَبوعَة على العمل الفني وتوفرِ الموادِ الذاتية اللصقِ للمقاس المطلوبِ. لذا، ألواح البطاقات الإلكترونية المطبوعة، خصوصاً تلك الألواح التي تستعمل الدوائر التكامليةِ لفتحات مَطْلية من الداخل أو مطلية الجدران أو ذات الجدران الخلالية المطلية ، فإن المقياس ١:١عادة لَيسَ كافيَ لتلبية الدقةِ البعديةِ المطلوبة للإنتاجِ الموثوقِ لألواح الدوائر المطبوعة . أغلب الاعمال الفنية، لذا، تولّدَ بالمقياس ٢:١، الذي يَعطي عمل فني أربع مراتَ مساحة لوح الدائرة المطبوعة الفعلية. لألواح الدوائر المطبوعة ذات الخَطِّ العالي الدقةِ ، يتم اختيار المقياس ٤:١ وبالتالي يَعطي ١٦ مرةَ مساحة لوح الدائرة المطبوعة الفعلية.

٣-١١-١ ملف التوثيقِ

Documentation File:

يُوصي بأنّ ملفَ التوثيقِ الكامل يَجِبُ أَنْ البيانات الضرورية التالية:

١. الجلادة الأمامية: العنوان، التاريخ، رقم الاصدار، تفاصيل العميل، ميزّات المشروعِ؛
٢. الشكل التخطيطي: أن يكون في صيغةِ كاد CAD على قرص؛
٣. فاتورة المواد: قائمة الأجزاء؛
٤. بيانات الأجزاء: أي سرد مُخْتَصَراتِ عددِ الجزءَ، مع مقاسات التغليف، مباعدة الاطراف، ملاحظات التفاوت والأنواعَ المفضلة؛
٥. مُلاحظاتِ التصنيع: تَحتوي المُلاحظاتُ التي تَتعلّقُ بمَرّاتِ الإنتاجِ السابقةِ على سبيل المثال المشاكل المصادفة، وطرق إختبار،.. الخ. ؛

٦. تثقيب التخطيط: التخطيط الذي يوضح الوَضْع ومقاس كُلّ فتحة على لوح الدائرة المطبوعة؛
٧. الشكل العملي للبطاقة الإلكترونيةِ المطبوعة: لكي يُجهّزَ في صيغةِ كاد CAD على قرص؛و
٨. المقاس الفعلي للوح الدائرة المطبوعة المستوي: تخطيط يوضح الوَضْع والتعريفَ لعناصر اللوح المطبوع. الخطةَ تُطْبَعُ بالمقاس الفعلي للسَماح للعناصر بأن تكون موضوعة مقابله للتَدقيق.

٣-١٢ المعايير المفيدة

Useful Standards:

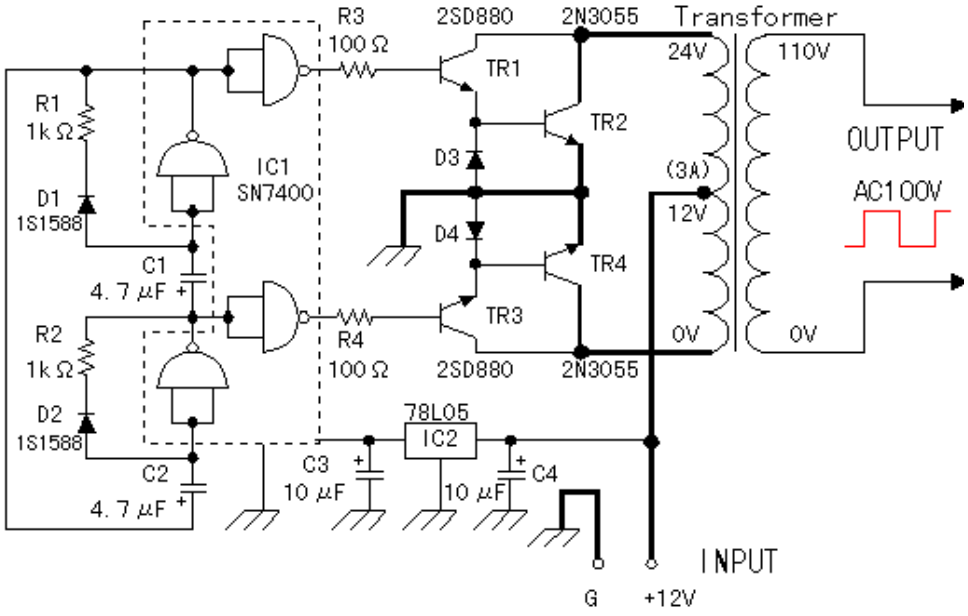
- IPC-2220: Design Standards Series: Includes all IPC current design standards in the IPC-2220 family.
- IPC-2226: Section Design Standard for High Density Interconnect (HDI) Printed Boards: Establishes requirements and considerations for the design of high density interconnect (HDI) printed boards including component mounting and interconnecting structures.
- IPC-JPCA-2315: Design Guide for High Density Interconnects and Microvias: A tutorial on the selection of HDI and microvia design rules and structures; includes design examples and processes, selection of materials, general descriptions and various microvia technologies.
- IPC-2221A: Generic Standard on Printed Board Design: Establishes generic requirements for the design of printed boards and component mounting or interconnecting structures for single-sided, double-sided or multi-layer.
- IPC-2222: Sectional Standard on Rigid Organic Printed Boards: Covers the design requirements of rigid organic printed boards, and component mounting and interconnecting structures.
- IPC-2224: Sectional Standard on Design of PCB for PC Cards: Covers design requirements of printed board of PC card form factors including concepts on bow and twist constraints, heat dissipation considerations and component placement requirements.
- IPC-2225: Section Design Standard for Organic Multi-chip Modules (MCM-L) and MCM-L Assemblies: Covers requirements and considerations with respect to thermal, electrical, electromechanical and mechanical for the design of single chip module (SCM-L), MCM OR MCML assemblies.

- IPC-2615: Printed Board Dimensions and Tolerances: Includes fundamental dimensioning and tolerance rules, positional, profile, orientation and form tolerances and detailed geometric symbology.
- IPC-D-322: Guidelines for Selecting Printed Wiring Board Sizes Using Standard Panel Sizes: Defines guidelines for choosing sizes of printed circuit boards using standard fabrication panel sizes.
- IPC-M-105: Rigid Printed Board Manual: Latest standards addressing the dimensioning, tolerance, qualifying and performance aspects of rigid printed boards.It also includes solderability testing, polymer thick film printed boards, land pattern and high speed circuitry design.
- IPC-1902: IPC/IEC Grid Systems for Printed Circuits: An international standard adopted by IPCA that ensures compatibility between printed circuits and the components to be mounted at the grid intersections.
- IPC-D-325A: Documentation Requirements for Printed Boards: Specifies general requirements for documentation necessary to fully describe end-product printed boards; includes master drawing requirements board definition and artwork /photo-tooling.

تمارين

إقرأ دائرة محول التيار المستمر إلى تيار متردد ثم إذكر الاعتبارات التي ستراعيها عند تصميمك للشكل العملي للوح المطبوع.

DC/AC inverter



الباب الرابع

إعتبارات التصميم للدوائر الخاصة
Design Considerations For Special Circuits

الباب الرابع

إعتبارات التصميم للدوائر الخاصة
Design Considerations For Special Circuits

٤-١ قواعد تصميمُ الدوائرِ التماثلية (التناظرية)

Design Rules for Analog Circuits:

في عالمِ اليومِ، يُمْكِنُ أَنْ يَفترض الناس بسهولة بأنّهم يعيشون في عالمِ رقميٍ كامل، رغم أن الإشارات التماثلية ما زالَت موجودة ضمن أكثر مِنْ ٦٠ بالمائة مِنْ التصميمِات الإلكترونيةِ المعاصرةِ. هناك ثلاثة إعتبارات هامة تُشكّلُ الأساس لقواعد تصميمِ ألواح الدوائر المطبوعة للدوائر التماثلية:

١. تنسيب العنصر؛
٢. موصلات الإشارة؛ و
٣. موصلات خط التغذية وخط الارضي.

٤-١-١ تنسيب العنصر

Component Placement:

يلعب تنسيب العنصر دوراً حاسماً، خصوصاً في تصميم ألوح الدوائر المطبوعة للدوائرِ التماثلية analog circuits. والتعليمات الهامة الّتي سَتُتبع في هذا الخصوص:

١. العناصر التي مَنْ الضَّرُوري أَنْ تطل مِنْ الواجهة الأماميةِ front panel يجب أنْ تُوْضَعَ متوافقة بالضبط مع متطلباتِ مصممِ الأجهزةَ.
٢. عناصر التعديل أو الضبط الداخلي مثل المقاومة المتغيرة potentiometers، المهذبات trimmers، المفاتيح switches، ..الخ. يَجِبُ أَنْ تَكُونُ مرتّبةً قُرْب حافةِ اللوح وتوَضع في الإتّجاهِ الصحيحِ للتشغيل السهل.
٣. العناصر المغلفة معدنياً لا يَجِبُ أَنْ تَكُونَ قريبة جداً من المقاومة المتغيرة potentiometers، المهذبات والمفاتيح.. الخ. خلاف ذلك فإنه أثناء الضبط والتعديل، قَدْ يُسبّبُ المفكّ قصر كهربائي بين عناصر الضبط المذكورة وهيكل الأجهزةَ.
٤. وَضْع العناصر المنتجة للِحرارةِ والعناصر الحساسة للحرارةِ يَجِبُ أَنْ يكُونَ مخطط لها بعناية. العناصر المنتجة للِحرارةِ يَجِبُ أَنْ تُوْضَعَ بعيداً عن العناصر الحساسة للحرارةَ.
٥. العناصر المنتجة للحرارةَ يَجِبُ أَنْ تُوزّعَ بشكل موحّد على كامل مساحة اللوح بعيدة عن بعضها بقدر الإمكان. هذا سَيتفادى التسخين أكثر من اللازمَ في منطقة معينة أو في حيز اللوح.
٦. العناصر التي من المحتمل أَنْ تُصبحَ ساخنة يجب أنْ تفْصَلَ عن سطحِ اللوح بواسطة مباعدات spacers مناسبة. حتى تتحقق حالة التهوية لهذه المباعدات spacers، أو تثبت على مسربات حرارية.
٧. حيث نحتاج في عملية التثبيت مسامير قلاووظ وصواميل، فإنه يجب ترك الفراغ اللازم والضروري للصامولة والوردة ، ولا يجب إمرار مسارَ موصّلَ تحتهما.

٤-١-٢ موصلات الاشارة

Signal Conductors:

موصلات الاشارة في ألواح الدوائر المطبوعة للدائرةِ المتماثلة يَجِبُ أَنْ تُؤدّي تَشْكِيلة من المهامِ المختلفِة شاملة الدخل input، مستوى الاسناد reference level، التغذية الخلفية feedback، الخرج output، ..الخ. لذا، فإن خط الاشارة لتطبيقِ واحد يَجِبُ أَنْ يَكُونَ الامثل أو الحَسّنَ بطرق مختلفة عن أى تطبيقِ آخرِ. لكن الإعتبار المشترك إجمالاً لتصميمات اللوح المطبوع للدائرة التماثلية هو أَنْ يبقي موصل الاشارة قصيراً بقدر الإمكان. هذا لأن مقدارُ تأثيرات الازدواج الحثّي والسعوي الغير مرغوبةِ تزداد تقريباً بشكل متناسب مع طولِ موصل الإشارة. قَدْ لا يَكُونُ من المحتمل دائماً

إبْقاء كُلّ موصلات الاشارة قصيرة كلما أمكن. النظرة العملية في مثل هذه الحالةِ هو تعريف موصل الاشارة الأكثر إنتقاداً (حرجاً) والعمل على وَضْعه أولاً في التخطيطِ العملي layout.

التخطيط (الشكل) العملي layout لموصل الاشارة يَجِبُ أَنْ يتم بعناية، خصوصاً لأنواعِ الدوائر التاليةِ:

١. مكبرات/مُذَبذِبات التردد العالي؛
٢. مكبرات متعددة المراحل خصوصاً مع مرحلةِ خرج القدرة العاليةِ؛
٣. مكبرات الربط المباشر dc amplifiers ذات الكسب العالي ؛
٤. مكبرات الاشارة ذات المستوي المنخفض؛ و
٥. المكبرات التفاضلية Differential amplifiers.

مكبرات الربط المباشر ذات الكسب العالي

High Gain dc Amplifiers:

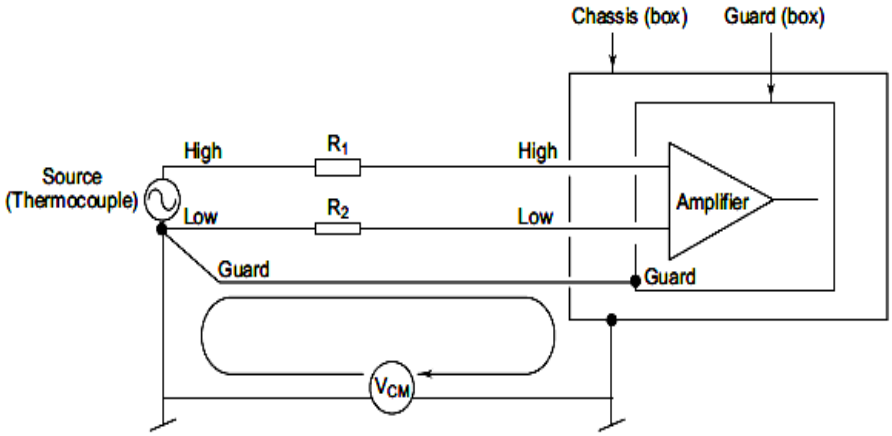
تُستَعملُ مكبرات الربط المباشر ذات الكسب العالي عموماً لتَضْخيم أو تكبير الإشاراتِ ذات المستوي المنخفض. عندما يكون عنصر مثل الترنزستور أَو مكبر ربط مباشر dc amplifier مَلْحُومُ إلى لوح دائرة مطبوعة، فإن وصلة إزدواجاً حرارياً thermocouple يُمْكِنُ أَنْ تتشكّلَ بين النحاس وبين طرف العنصر. هذا سَيخْلقُ جهود مختلفةَ، التي بدورها، سَتولّدُ إشارة ضوضاءِ إلى المكبر. لكي نقلّلَ تدرج درجةَ الحرارة temperature gradient عند مرحلةِ الدخل لمكبر الربط المباشر وللإبْقاء على استقرار تدرج درجةِ الحرارة، من المُسْتَحسن وَضْع مرحلة الدخل في مضمّن enclosure منفصل حيث لا يَسْمحُ بحرية حركة الهواء المحيط.

المكبر التفاضلي Differential Amplifier:

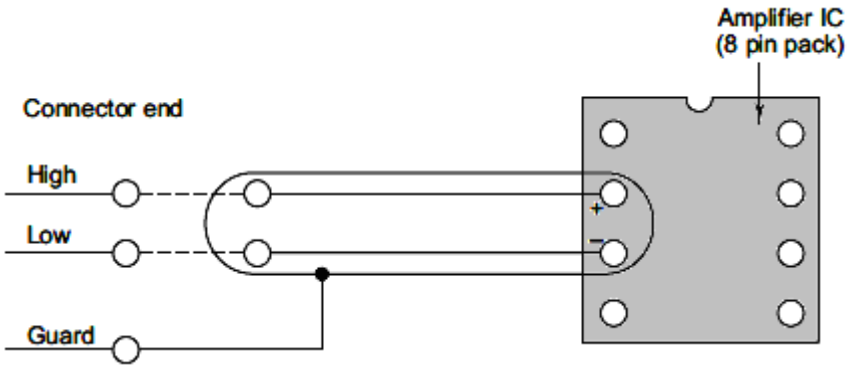
المكبر التفاضلي يُكبر فرق الجهد voltage difference بين إشارتين ويَرْفضُ الجهد المشترك common voltage على كلتا الإشارتين. عندما يكون مستوى الاشارة منخفضُ، فإن الجهد المشترك سَيتداخّلُ ويخْلقُ اشارات فرق صغيرة وذلك إذا كان المكبر التفاضليِ ولوحته المطبوعة لَمْ تصمّمْ بشكل صحيح. مداخل المكبر التفاضلي لَها ممانعة كهربائيةُ عاليةُ بالنسبة للأرضيِ وأيّ خلل في توازنهما (أى عدم اتزان فيهما) سَيسقطُ أداءَ الدائرةَ إلى مستوى غير مقبولِ. لذا، فإن التماثل

الهندسي الطبيعي للمكبر على لوح الدائرة المطبوعة يجب أنْ يكون مضمون أثناء تصميمِ الشكل العملي layout.

هناك مقاومة تسربِ محدودةٍ تَوجِدُ عند مدخل المكبر التفاضلي، يُمْكِنُ أَنْ تسبّبَ جهد تعديلِ (تعويض) offset voltage غير متوازن. هذه المشكلةِ يُمْكِنُ أَنْ تُحْلَّ بتَزويد الحِراسَة guarding في دائرةِ المدخل input circuit. هذا الترتيبِ يُوضح في الشكل رقمِ (٤-١). يطوق الحارسُ موصلات الاشارات وإذا حفظت عند نفس الجهد كخَطّ منخفض لموصلى الإشارة الإثنين، فإن هذا يُؤدّي إلى زيادةِ في المقاومة الفعّالة. يَضْمنُ هذا النوعِ مِنْ الترتيبِ أنّ طرف المصدر وخَطَّ الحارسَ يكونا عند نفس الجهد كطرف منخفض لمصدرِ الإشارة. الشكل رقم (٤-٢) يوضح كَيف يمكن للحِراسَة أَنْ تُتم على لوح الدائرة المطبوعة. موصل الحارسguard conductor على شكل حلقة تحاصر أو تتطوق موصّلات الاشارة من مقبس الدخل إلى نقاط لحام مدخل المكبر، ويتم توصيلها مع حارس الاجهزة. هذه الطريقةِ تمكن أى اسلوب كفوءةَ لمعالجة الإشاراتِ التفاضليةِ ذات المستوي المنخفض. بالإضافة، المادّة الاساسية للوح الدائرة المطبوعة PCB المستخدمة للمكبراتِ التفاضليةِ ذات المستوي المنخفض يَجِبُ أَنْ تكون بشكل مفضل من النوع الابوكسي الزجاجي glass epoxy، الذي يُساعدُ في تَخفيض تياراتِ التسربِ.



شكل رقم (٤-١) يوضح حراسة المكبر التفاضلي. عند طرف المصدر، يكون خط الحراسة عند نفس الجهد كطرف منخفض.



شكل رقم (٤-٢) يوضح كيفية حراسة موصلات الاشارة على لوح الدائرة المطبوعة.

مكبرات الإشارة منخفضة المستوى

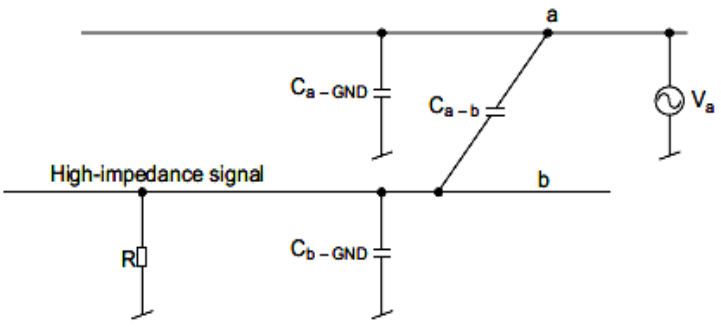
Low-level Signal Amplifiers:

يوجد نوعان من المكبرات المعالجة للإشاراتَ منخفضة المستوى low-level signals.

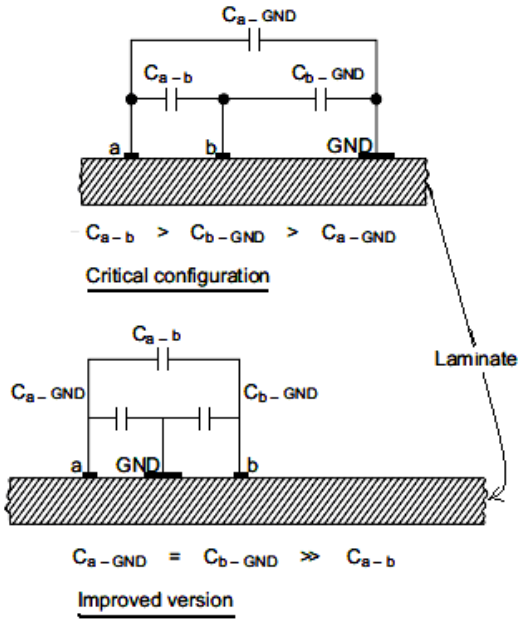
مكبر عالي الممانعة(التيار المنخفض): في هذه المكبراتِ، الإزدواج السعوي capacitive بين موصلين متجاورين للإشارة يُمْكِنُ أَنْ يُؤثِّرُ بشكل خطير على أداءِ الدائرةَ، حتى يؤدي إلى إخْفاء مستويِ الإشارة المنخفض.

الإزدواج السعوي Capacitive بين موصلين في دائرة ممانعة عاليةِ موضح في الشكل رقمِ (٤-٣). لتَقليل الإزدواج، من المُسْتَحسن تَزويد مسافة كافية بين الموصلات عالية الممانعة والموصلات الأخرى ذات إشارةِ التداخّل. حسب الخبرة والتجربة، مسافة الفصل (المباعدة بين موصلين) قَدْ تُبقي على الأقل عند قيمة ٤٠ مرةَ من عرض موصل الإشارة.

على أية حال، سعة capacitance موصلات الاشارة ذات المستوى المنخفض إلى الأرضيِ يَجِبُ أَنْ تَكُونَ عاليةَ لكي يصبح الجهد المرتبط coupled voltage منخفض. هذا يُشيرُ ضمناً إلى أنَّ موصلات الاشارة ذات المستوى المنخفض يجب أن تكون قريبة لموصلات الارضي. إذا لم يكن الفصل العريض غير محتملَ، فإن الإزدواج يُمْكِنُ أَنْ يُخفّضَ بوَضْع موصل الأرض في الوسط كما هو معروض في الشكل رقمِ (٤-٤).



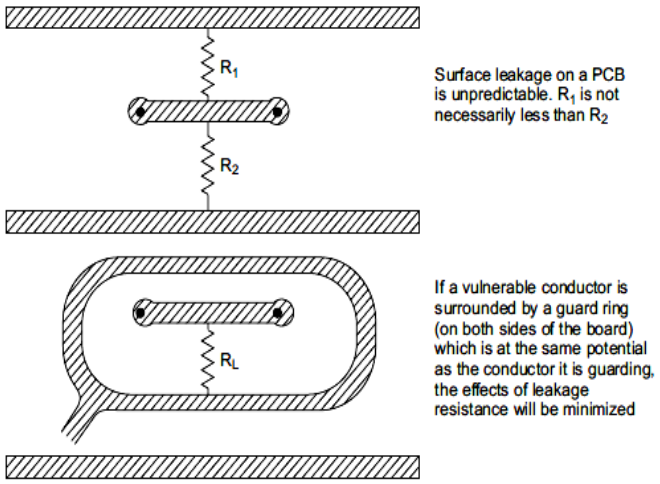
شكل رقم (٤-٣) يوضح الإزدواج السعوي بين موصلين في دائرة ممانعة عاليةِ



شكل رقم (٤-٤) يوضح كيفية خفض ظاهرة تداخل الحديث في خطوط الإشارة المتوازية بوضع موصل الارض بينهم.

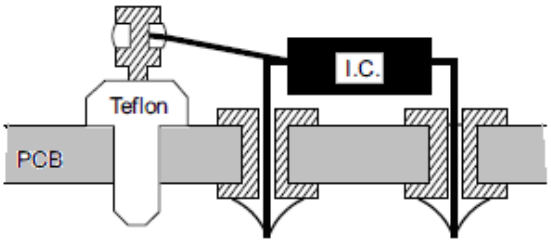
عند تكبير الإشاراتِ مِنْ الخلايا الضوئية photocells والخلايا الكهروكيمياوية، ممانعة المصدر قَدْ تساوي العديد مِنْ الملايينِ أَو البلايينِ من الأومِ. إذا كانت ألواح الدوائر المطبوعة تم تنظّيفها بشكل غير كاف بعد عملية النقش، فإن المنحلات بالكهرباء electrolytes المتبقية على سطحِ اللوح قَدْ تؤدّي إلى مقاومات قابلة للمقارنةِ (مشابهة-مماثلة) بين الموصلات القريبة. حتى بالألواحِ المُنَظَّفةِ

تماماً، فإننا يمكن أن نتوقع مقاومات تسرب لا تزيد عنْ $١٠^{١٢}$ أوم. هذه المقاومات، علاوة على ذلك، من غير المحتمل أنْ تكُونَ موحدة الخواص isotropic بحيث ربما تكون المقاومة بين إثنين متجاورين من المسارات أعلى مِنْ تلك التي بين مسارين فَصلا بواسطة فجوة أكبر بكثير. لهذا السبب، فإن المدخلات inputs إلى محولات التيار/الجهد منخفضة المستوى low-level I/V converters يَجِبُ أَنْ يتم حمايتها بواسطة الحلقات الحارسة guard rings على كلا الجانبينِ للوح الدائرة المطبوعة، الشكل رقم (٤-٥) موصولة إلى نقطة عند نفس الجهد كملتقى الجَمْع summing junction. إذا تم هذا بالفعل، فإن القيمة المضبوطة لمقاومةِ التسربَ تصبح غير مهمةُ حيث يكون فرق الجهد المحتملِ عبرها سَيَكُونُ صغير.



شكل رقم (٤-٥) يوضح كيفية خفض مقاومة التسرب على ألواح الدوائر المطبوعة باستخدام حلقة الحراسة.

في تطبيقاتِ هذا النوعِ، يصبح إستعمال الفتحات الخلالية المطلية plated through-holes (PTH) غير مستحسنُ. المقاومة النوعية bulk resistivity لمادّةِ اللوح المطبوع يصبح أقل بكثيرُ مِنْ المقاومة النوعيةِ للشريحة المعدنية sheet لسطحه وهذا يعتبر صعب جداً لصِناعَة حلقة الحراسة guard ring في معظم اللوح. أفضل نظرةٍ هو تُوصيلَ مثل أطراف مكبر عالي الممانعة لعازل تيفلون Teflon بدلاً من مسار في لوح الدائرة المطبوعة. هذا موضح في الشكل رقم (٤-٦).



شكل رقم (٤-٦) يوضح كيفية استخدام بروز التيفلون العازل حيث يمتاز بأقل تسرب عن مسار اللوح المطبوع

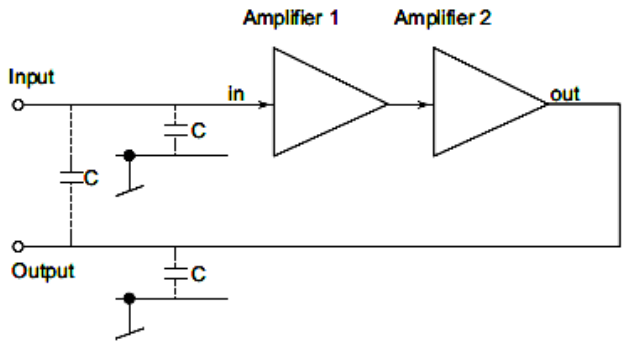
مكبر منخفض الممانعة (جهد منخفض) :
Low-impedance (low voltage) Amplifier:

في حالة الدوائر منخفضةِ الممانعة، هناك إمكانية الحصول على جهود مستحثة نتيجة للإزدواج الحثي أو المجالات المغناطيسية. هذا التداخلِ يُمْكِنُ أَنْ يُخفّضَ إلى حدّ ما بواسطة:

١. وَضْع موصلات تحمل مستوى أعلى من اشارات ac بعيدة بعداً كافياً عن موصلات الاشارة منخفضة المستوى؛
٢. العمل على تَزويد موصلات الأرضي بالقُرْب من موصلات الإشارةِ؛ و
٣. تَجَنُّب حلقات الأرضِي لتَعطيل المجال المغناطيسيِ الخارجيِ مِنْ تحقيق اضطراب لأشارات المستوى المنخفض.

مكبرات/مذبذبات التردد العالي
High Frequency Amplifiers/Oscillators:

الشكل العملي Layout الغير مناسب أو الغير صحيح للدائرة المطبوعة يُؤدّي إلى تصغير عرض نطاق bandwidth للمكبر. هذه الحالةِ موضحة في الشكل رقمِ (٤-٧). هذا لأن قربَ موصلات الارضي وموصلات الاشارة تؤدّي إلى سعة عالية high capacitance سوياً مع مقاومةِ الخرج، وتقوم بفعل مرشِح إمرار منخفضِ low pass filter.



شكل رقم (٤-٧) يوضح تكوين مكبر عالي التردد.

يُخفّضُ هذا العملِ عرض نطاق المكبر. أيضاً، إذا كانت موصلات الدخل والخرج قريبة من بعضها البعض، فإن هذا يؤدي إلى وجود تغذية عكسية تُسبب تذبذباتِ oscillations. ولكي تُحْلَّ هذه المشكلةِ، يجب تحقيق مباعدة كافية بين مثل هذه الموصلات لتَفادي هذا التأثيرِ (Lindsey, 1985).

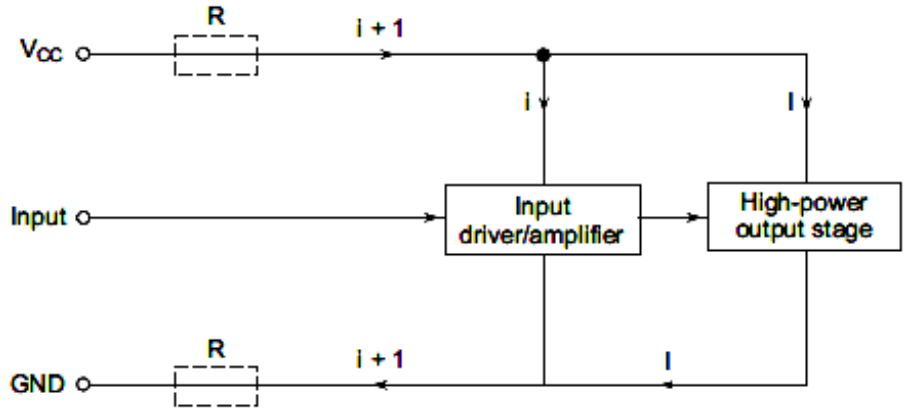
من الخبرة الشائعة لمصممي الدائرة الإلكترونية عند الترددات العالية (> ١٠ ميغاهيرتزِ)، أنك تُصمّمُ مكبراً، لكن عملياً، تجده يتذبذبُ. ومن المشاكل المماثلة التي تقابلنا مُصَادَفة في تَصميم الشكل العملي لأى مُذَبذِبِ؛ عدم تذبذبه عند الترددِ المطلوبِ. تَظْهرُ مثل هذه المشاكلِ بسبب وجود تأثير لازدواج سعوي capacitive بين خطوطِ الاشارة. أحد التحذيرات الهامة عند عمل الشكل العملي للوح المطبوع في مثل هذه الحالاتِ هو خفّضَ الإزدواج السعوي capacitive بين خطوط الإشارةِ.

مكبرات متعددة المراحل بمرحلةِ خرج عاليةِ القدرة

:Multi-stage Amplifiers with High Power Output Stage

المكبرات المتعددة المراحل عرضة للتذبذباتِ ذات التردّد المنخفض، إذا كانت خطوط التغذية supply والأرضيِ ground طويلة جداً. فإن سَحبَ التيارُ الكبيرُ بالمرحلةِ عاليةِ القدرة سَيتدفّقُ خلال الموصلات مَع مقاومتها النوعية الخاصة. هذه المشكلةِ يُمْكِنُ أَنْ تُحْلَّ بفك الإزدواج لموصلات تغذية القدرة الكهربائية بالمكثّفاتِ الكبيرةِ الكافيةِ بين التغذية والأرضي، الشكل رقم (٤-

٨). بدلاً من ذلك، هو اللجوء إلى الفْصلُ بين موصلات تغذية القدرة وموصلات الأرضي لمرحلتين مختلفتينِ لكي لا يكون هناك تغذية مشتركة أَو ممر أرضيٍ.



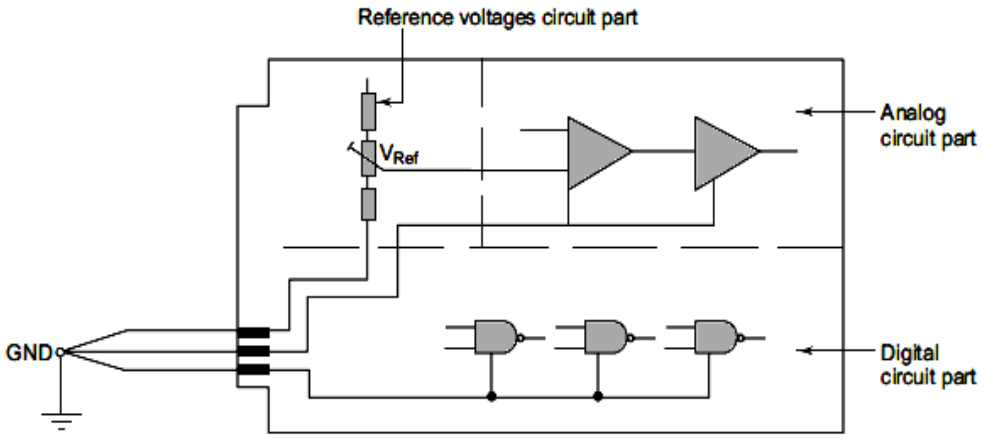
شكل رقم (٤-٨) يوضح مكبر متعدد المراحل مع مرحلة خرج عالية القدرة : تحقيق فصل موصلات تغذية القدرة وموصلات الارضي لتجنب الممر الحارس للتغذية المشتركة.

٤-١-٣ موصلات التغذية والأرضي

Supply and Ground Conductors:

خطوط التغذية الكهربائيةِ يَجِبُ أَنْ تَكُونَ ذات عرضِ كافيٍ لإبْقاء المقاومةِ والمحاثّة الكهربائيةِ عند القيمة المنخفضة. على أية حال، الازدواج السعوي capacitive إلى الأرضي يزداد مع زيادة العرض.

يَجِبُ أَنْ تكون الدوائر المتماثلة والرقمية الموجودة على نفس لوح الدائرة المطبوعة لَها شبكةُ موصلات أرضيةُ مستقلةُ بصرامة. بنفس الطريقة، دوائرَ جهد الاسناد reference voltage circuits، التي عادة تكون حسّاسة لتقلبات جهد الارضي، يَجِبُ أَنْ تكون خطوطَ التغذية شريطية مباشرة عند مدخل لوح الدائرة المطبوعة وخَطّها الأرضي يَجِبُ أَنْ يكُونُ مُرتَبِط بشكل منفصل إلى نقطةِ مرجعية (اسنادية) أرضيةِ مستقرّةِ للأجهزةِ. مثل هذا الترتيبِ موضح في الشكل رقمِ (٤-٩).



شكل رقم (٤-٩) يوضح شرط فصل موصلات الارضي لأجزاء دائرة الاسناد، والتماثلية، والرقمية.

في الحقيقيةِ، موصلات الأرضي لديها كل من المقاومة والمحاثّة الكهربائية، ولَرُبَّمَا أيضاً تحْملُ تياراتَ متقلّبةَ، التي سَيكونُ لديها اسقاط جهدي عندما تتدفّق في الممانعات الأرضيةِ. برامج CAD PCB خصوصاً تكون سيئة في التصميمِ الأرضيِ لأنها تميل إلى إبْقاء كُلّ الموصلات رفيعة بقدر الإمكان لحِفْظ النحاسِ ومساحة اللوح، وهذا، بالطبع، يُؤدّي إلى المستوى العالي لمقاومةً الارضي. هناك بديل واضح لأطراف الأرضي الرفيعة — " مستوى أرضي مستمر " مِنْ النحاس الذي يغطي احد جوانبِ لوح الدائرة المطبوعة الذي يتم عليه ربط كل توصيلات الأرضي. مقاومة نحاس بسمك ٠.٠٠١ "(٠.٠٢٥ مليمتر) تقريباً تساوي ٠.٦٧ ميللي أوم/بوصة مربعِة لكي يكون هذا الحَلّ كافي — لكن لَيسَ دائماً.

٤-١-٤ القواعد العامة لتصميمِ اللوح المطبوع للدوائر التماثلية

General Rules for Design of Analog PCBs:

هناك بضع قواعد عامّة تَتعلّقُ بتصميمِ اللوح المطبوع للدوائرِ التماثلية:

١. حافظ على ممر الاشارة قصير بقدر الإمكان. هذا سَيساعدُ على تَقليل كل من الاسقاطات الجهدية خلال الموصلات بالإضافة إلى التداخلِ الكهرومغناطيسي بواسطة التحكم في مساحات الحلقةِ loop areas .

٢. حاول أن تجعل هناك فصل بين ارضي الاشارات التماثلية والرقميةَ وإربطْهما سوية مرّة واحدة.
٣. زوّدْ توصيلة واحد مِنْ أرضِي النظامَ إلى أرضِي الأرضِ الفعليةِ actual earth ground .
٤. صلْ الأحجبة السعوية capacitive مرّة لتَزويد ممر عودةِ إلى مصدرِ الضوضاءَ.
٥. يَجِبُ أَنْ تَكُونَ الأحجبة المغناطيسية مصنوعة مِنْ مادّة نافذة جداً highly permeable material لتَكُونُ فعّالةَ.
٦. المعدن لا يَجِبُ أنْ يَتْرِكَ عائِم بشكل كهربائي.
٧. أحفظ توازنَ النظام لمَنْع إشارات النمطِ المشترك common mode من أَنْ يُصبحَ تفاضلي.
٨. حدّدْ عرض نطاق النظامِ إلى عرض نطاق الاشارة المطلوبةِ.
٩. احفظ مساحات الحلقات صغيرة ودائماً فكر أين ستتدفق التيارات.
١٠. بين لوحى دوائر مطبوعة، استخدم كابل سلك مجدول twisted pair cable لتَحسين خاصية رفضِ الضوضاءَ للنظام.

إستعمال مجموعةِ برامج لتصميمِ لوح مطبوع لدائرة تماثلية عالية السرعة، تحتوي نموذجياً عناصر تقليدية وعناصر سطحية وحِماية shielding وإشاراتِ تعمل عند ٢ جيجاهيرتز GHz موضحة بواسطة Meyer وآخرون، (١٩٩١).

٤-٢ قواعد التصميمُ للدوائرِ الرقميةِ

Design Rules for Digital Circuits:

حتى فترة قريبة، كانت المهمّةَ الوحيدةَ لألواح الدوائر المطبوعة هو تحقيق التوصيلية الكهربائية بين العناصر المُخْتَلِفةِ ومن ناحية أخرى كانت الموصلات لِزاماً عليهُا أَنْ تكُون لها مساحة مقطع كافيةِ لتَحَمُّل التيارِ الضروريِ بدون ارتفاع درجة حرارتها أكثر من اللازمِ. فصل الموصل كَانَ مرتّب جداً بِحيث يَجِبُ أَنْ يَمْنعَ انهيار الجهد voltage breakdown. الإستعمال الواسع الإنتشار للدوائر المتكاملة الرقمية أدى الآن إلى عناصر بسرعات تحويل وأزمنة ارتفاع سريعة بشكل شديد. خصائص انتشار الموجةِ الكهرومغناطيسيةِ أَصْبَحتْ مهمةَ ومَنْ الضَّرُوري أَنْ تُؤخذ في الاعتَبارَ

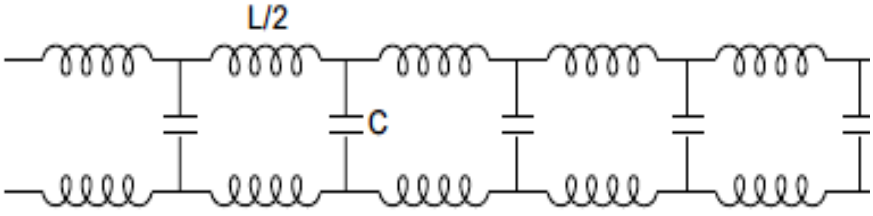
بعنايـة. تحـت هـذه الظـروفِ، البطاقـات الإلكترونيـة المطبوعـة قَـدْ تَعمـل كخطـوطِ إرسـالِ transmission lines إذا كان زمن الارتفاع والسقوط rise or fall time للعنصر الدافع أقل مِنْ مرّتين من زمن تأخيرِ الانتشار propagation delay.

من الضروريُ فَهْم أنّ زمن الإرتفاعُ/السقوط rise/fall time هو الذي يعتبر حرجُ ولَيسَ ترددَ التشغيل operating frequency. على أية حال، التردد معتمد على أزمنة الإرتفاعِ/السقوط، حيث أنه كلما كانت قيمةِ زمن الإرتفاعِ/السقوطِ الاقل، كلما كان التردد الأسرع لتشغيل العنصر. تحت هذه الحالاتِ، تصبح تأثيرات خَطّ التراسل قابلة للتطبيقَ ومعرفةَ الخصائصِ الكهربائيةِ إرتبطتْ بالموصلات التى تعمل كخطوطِ إرسالِ تصبح ضروريةُ. من ثمّ، الممانعة الكهربائية المميزة characteristic impedance يَجِبُ أَنْ تَكُونَ متوافقة إلى عنصر الاستقبال هذا لمْنعَ الإنعكاسَ.

٤-٢-١ خط الإرسالِ (التراسل)

Transmission Lines:

لكي ندرك مفهومَ خطوطِ الإرسالِ، اعتبرُ سلك مستقيم طويل أَو مسار أو أثر مَع سلك أَو أثر أو مسار عودته بالقرب منه. السلك لَهُ بَعْض المحاثّة الكهربائيةِ على طولِه. هناك أيضاً البعض من الازدواج السعوي capacitive بين سلكِ الذهاب للإشارة وسلك العودة للإشارة. الشكل رقم (٤-١٠) يوضح بماذا يدعى عموماً النموذج المُكَوَّم lumped model لزوجِ من الاسلاك، لأن المكثّفاتَ capacitors والملفات inductors يظهران كما لو كانت عناصر مكُوّمة lumped components. في الواقع، نجد أن المحاثّة والسعة تَنْشرانِ بشكل مستمر على طول الأسلاكِ. في المفهومِ، السلك بشكل لانهائي طويل والشكل يُوضح فقط جزءَ صغيرَ بشكل لانهائي من الطولِ الكليِّ.



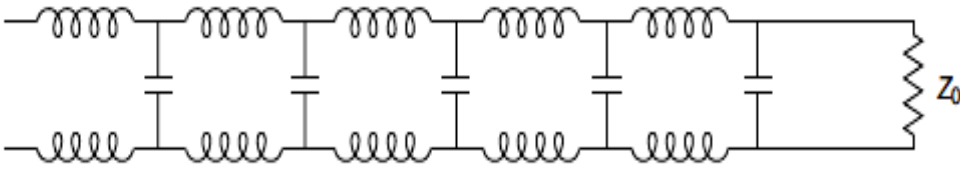
شكل رقم (٤-١٠) يوضح خط التراسل: شبكة بطول لانهائي من المكثفات والملفات.

إذا كانت هذه الأسلاكِ بشكل لانهائي طويلة، فإنه من الواضح أنه لَنْ يكون هناك إنعكاس مطلقاً مِنْ طرفه البعيد. أيضاً، إذا كانت الأسلاكِ منتظمة جداً، رغم ذلك لَنْ يكون هناك إنعكاسات. لذا، فإن الطريقة الوحيدة لتَفادي الإنعكاساتِ هو أَستعمال سلك منتظم بشكل مطلق طويل بشكل لانهائي، أو زوج من المسارات. مثل هذا السلك أو زوج المسارات أعطيا الاسمِ الخاصِّ لخط التراسل .(Brooks, 2002)

إذا نْظرُنا في جبهةِ هذا الزوجِ من الاسلاكِ، فإن هناك ممانعة مدخل يُمكنُ حسابها رياضياً. وهى مُمَثَّلة بواسطة الرمز Zo، وتدْعَى الممانعة الكهربائيةَ المميزةَ characteristic impedance للخَطِّ. بحِساب القِيَمِ المُكَوَّمةِ للمحاثّة الكهربائيةِ (L) والسعة (C)، فإن الممانعة الكهربائية من ثم تكون محسوبة من العلاقة:

$$Z_o = \sqrt{L/C}$$

بالإشارة إلى الشكل رقمِ (٤-١١)، دعنا نَأْخذُ خط تراسل طويل بشكل لانهائي ونقسّمه إلى قسمين. إذا نظرنا عند الجزءِ الثاني، فإنه يَبْدو مثل خط تراسل طويل أيضاً بشكل لانهائي بممانعة كهربائيةِ Zo. هو هكذا يَظْهرُ كخَطّ إرسالِ بطول محدودِ، تم إنهائه بممانعته الكهربائيةِ المميزةِ Zo حيث تَبْدو مثل خط تراسل طويل بشكل لانهائي. لذا، بالرغم من أنَّ لَهُ طول محدود، إلا أنه سَيَبْقى لَيْسَ لهُ إنعكاساتُ بينما كُلّ الطاقة تُسافرُ أسفل الخَطِّ وتمتصَّ أَو تبدد بالضبط في الطرف وليس هناك طاقة تَركت لتنعَكْس للخلف ولا إنعكاسَ يدعو للقَلْق.



شكل رقم (٤-١١) يوضح إنهاء خط تراسل طويل بشكل لانهائي إلى ممانعته المميزة Zo

هي بالضبط هذا الاسلوب الفني الذي يستَعملُ للسَيْطَرَة على الإنعكاساتِ الموجودة على لوح الدائرة المطبوعة PCB. من المطلّوبُ لجَعْل الآثارُ traces أو المسارات tracks تبدو مثل خطوطُ الإرسالِ وإنْهائها بممانعتها الكهربائيةِ المميزةِ Zo. هناك أنواع معينة من خطوطِ الإرسالِ نصادفها

عموماً. الكابل المحوري coaxial cable المستخدم لكابل التلفزيون السلكي ممانعته المميزة ٧٠ أوم. الـ١٠ للأساس ٢ كابل محوري لربطِ الشبكات ذات ممانعة مميزة مقدارها ٥٠ أومِ.

مما سبق، نجد أنه من الواضح أنّ آثار أو مسارات لوح الدائرة المطبوعة PCB يُمْكِنُ أَنْ يواجهَ خاصيةَ خطوطِ الإرسالِ. النقطةَ التي يحْدثُ عندها هذا (الطول الحرج) تُعرّفُ عادة كما هو الحال عندما يكون " تأخير الطريقين للخط يساوي أكثر مِنْ زمن الإرتفاعَ للنبضِة ". على سبيل المثال، الطول الحرج تقريباً ٣" للإشارة مَع١ نانو ثانية زمن إرتفاعِ في لوح الدائرة المطبوعة رقم FR4.

تعتبر الممانعة الكهربائيةَ المميزةَ لخَطّ الإرسال دالة لهندستِه. في تطبيقاتِ لوح الدائرة المطبوعة PCB، نجد أن الممانعة المميزة دالة لعِدّة متغيّرات، إثنان منهم هما عرضَ الخَطِّ وإرتفاعِ الخَطِّ فوق المستوى. إذا كان طولِ الأثرِ أو المسار للاشارة أكبر مِنْ الطولِ الحرجِ، وإذا لم يكن هناك إدّعاء للأثرِ أو المسار للإسناد، من المحتمل ان لا يُمْكِنُ أَنْ يكون هناك سيطرةِ على Zo، ليس هناك طريقَ لإنْهاء الأثرِ أو المسار، ولذا، ليس هناك طريقَ للسَيْطَرَة على الإنعكاساتِ. إنّ الإنعكاساتَ التي من المحتمل أَنْ تَحْدثَ في مثل هذه الحالاتِ يُمْكِنُ أَنْ تُسبّبَ جهود للضوضاءِ وإشاراتِ خاطئةِ أو مزيفة اللذان سَيُسبّبانِ فشل الدائرةَ.

٤-٢-٢ مشاكل في تصميمِ ألواح الدوائر المطبوعة للدوائرِ الرقميةِ

Problems in Design of PCBs for Digital Circuits:

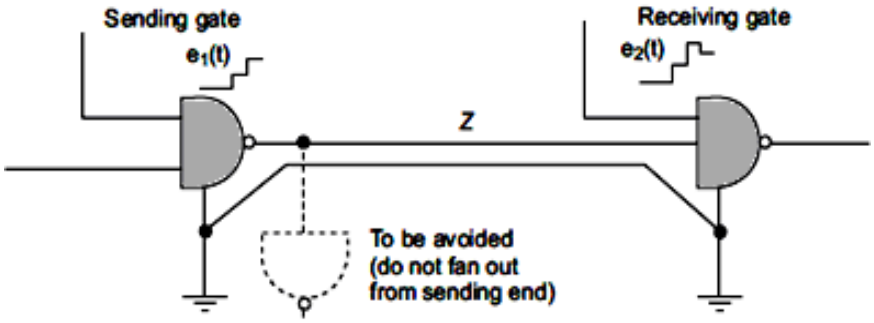
أداء التردد العالي للبطاقات الإلكترونيةِ المطبوعةِ يُصبحُ مهم جداً بشكل متزايد في الدوائر الرقميةِ ومعرفة الخصائصِ الكهربائيةِ المرافقة مع الموصلات التي تعمل كخطوط تراسل يصبح ضروري (Jeffery، 1997). المشاكل الرئيسية التي يُمْكِنُ أَنْ تُؤثّرَ على ألواح الدوائر المطبوعة الرقمية، إذا لم تكن مُصَمَّمة جيدّاً؛ هى :

١. الإنعكاسات Reflections (تُسبّبُ تأخيرات الاشارة ومضِاعفَة النبضة، وبمعنى آخر: التحويل مِنْ نبضةِ واحدة إلى إثنان أَو نبضات أكثر)؛
٢. تداخل الحديث Cross-talk (تداخل بين خطوطِ الإشارة المتجاورةِ)؛
٣. ضوضاءاً إشارة التغذية والارضي؛ و
٤. التداخل الكهرومغناطيسي مِنْ المجالات الكهرومغناطيسيةِ نوعِ النبضِة.

٤-٢-٢-١ الإنعكاسات Reflections:

الدوائر الرقمية مُمَيَّزة بأزمنة الإرتفاعِ والسقوطِ السريعين. ولذلك، فإن الموصلات على لوح الدائرة المطبوعة PCB لا يُمْكن أنْ تعتَبرَ كدوائر قصر short-circuits، لكن كقِطَع خطوطِ تراسل. خطوط الإرسالِ هذه تكون غير متوافقة بشكل عادي فيما يتعلق بممانعة الحملَ أَو المصدرَ، فيُؤدّي ذلك إلى الإنعكاسات المتعددة. هذه الإنعكاساتِ لَها تأثير متدهورُ على أداءِ الدائرةَ التي يُمكنُ أَنْ تكُونَ في شكل تأخيراتِ الاشارة، وحتى مضاعفة النَبْضة، وبمعنى آخر: تحويل مِنْ نبضةِ واحدة إلى نبضتين. لذا، النقطة المهمة للإعتِبار بينما يُصمّمُ لوح الدائرة المطبوعة PCB لدائرة رقمية هو أن موصلات الإشارةِ يَجِبُ أَنْ يكونَ لديها القيمةُ الصحيحةُ لممانعة الموجه الكهربائيةِ Zo، لكي تعطي قيمته أقلّ مشاكل الإنعكاسِ.

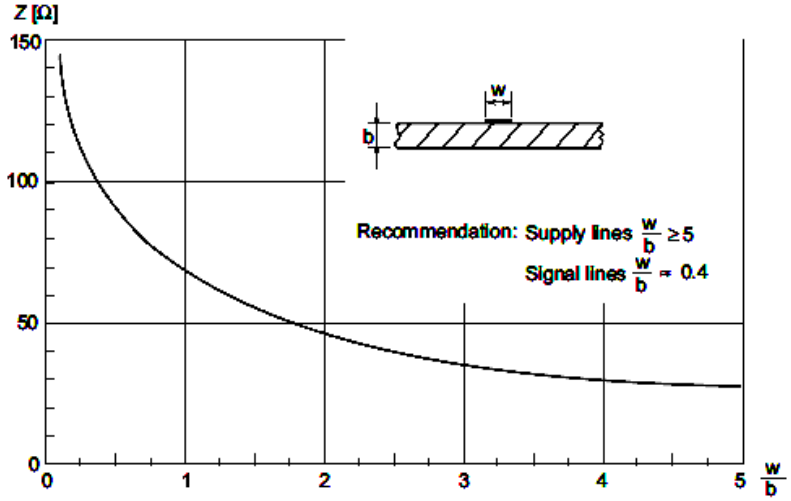
القيمة المطلوبة لممانعة الموجةَ الكهربائيةِ يُمْكِنُ الحصول عليها بواسطة الإخْتيارَ الصحيح لعرضِ خطوط الاشارة بالإضافة إلى المسافةِ بين خطوطِ الاشارة والخَطِّ الأرضي. أي قيمة كبيرة نسبياً لممانعة الموجةِ الكهربائيةِ مطلوبة لتصميم دوائر المنطق باستخدام الدوائر المتكاملة TTL وCMOS المنطيقة، التي يُمْكِنُ أَنْ نحْصَلَ عليها مِنْ موصلات الاشارة الرفيعة. من الناحية الأخرى، تَتطلّبُ دوائرَ ECL موصلات اشارة أوسع. من المهمُ أن تظل الإنعكاسات صغيرة حتى إذا كان للدائرةِ الرقميةِ تردد تشغيل منخفضِ لكي يَتفادى مضاعفة النَبْض double-pulsing.



شكل رقم (٤-١٢) يوضح بوابة إرسال تدفع بوابة استقبال على خط تراسلي في دائرة TTL .

الدوائر المتكاملة TTL :

هى عبارة عن دائرة رقمية أساسية فيها بوابتان مُرتَبِطتان على خَطّ اشارة مَع ممانعة موجةِ كهربائية Z موضحة في الشكل رقمِ (٤-١٢). قِيَم ممانعة الموجةَ الكهربائيةِ رسمت للوح دائرة مطبوعة مثالية موضحة في الشكل رقمِ (٤-١٣).



شكل رقم (٤-١٣) يوضح ممانعة الموجة Z لموصلات لوح الدائرة المطبوعة.

ممانعة الموجةَ wave impedance المرغوبَة لموصلات الدائرة التكاملية TTL وُجِدَ أنه يتراوح مِنْ ١٠٠ أوم إلى ١٥٠ أوم. هذه القيمةِ يُمْكِنُ الحصول عليها عندما يكون عرضِ الموصل مِنْ ٠.٥ إلى ١.٠ مليمترِ. إستعمال موصلات الاشارة المتسعة الذي قَدْ يُؤدّي إلى ممانعة موجةِ كهربائية مقدارها ٥٠ أوم أَو أقل يَجِبُ تجنبه في دوائرِ TTL، كما أن الدائرة المتكاملة قَدْ تتلَفُ بسبب الارتفاعات الجهدية السلبيةِ الكبيرةِ المفاجئة large negative voltage spikes .

أيضاً، خطوط الممانعة الكهربائيةِ العاليةِ جداً (تساوي أو أكبر من ٢٠٠ أوم) يَجِبُ أيضاً أَنْ تكون مُتَجَنّبة حيث أنها قَدْ تسبّب مشكلةَ في شكل الجهود الأكثر من اللازمِ over-voltages والضارّةِ وتسبب حالة مضاعفة النَبْضة. بالرغم من أن خطوطِ الممانعة الكهربائيةِ العاليةِ جداً لَيستْ شائعة في الأشكال العملية Layouts للوح الدائرة المطبوعة، إلا أنها يُمْكِنُ أَنْ يَحْدث ذلك بتوزيع الأسلاك السائبة المفتوحِة الطرف. لذا، يَجِبُ أَنْ يَكُونَ متأكداً بأنّ توزيع الأسلاك السائبة متفادى وتوصيلات

خط الاشارة بين ألواح الدوائر المطبوعة يَجِبُ أَنْ يَمر دائماً قُرْب الخَطِّ الأرضي ويَكُونُ من المفضل مجدول مع الأخيرِ.

الدوائر المتكاملة CMOS :

قيم ممانعة الموجةَ الكهربائية المطلوبة لموصلات الدوائر المتكاملة CMOS تنحصر بين ١٥٠-٣٠٠ أوم. هذه القيمةِ الكبيرةِ لممانعة الموجةِ الكهربائيةِ يُمْكِنُ أَنْ نحْصَلَ عليها بإبْقاء عرض موصل الاشارة منخفضاً بقدر الامكان. عادة عرض موصلات الاشارة بقيمة أقل أو تساوي ٠.٥ ميلليمتر سَيكونُ لديه ممانعة موجةِ كهربائية مقدارها ١٥٠ أوم إلى ٣٠٠ أوم. لذا، يجب تفادى موصلات لوح الدائرة المطبوعة العريضة لخطوط الاشارة للدوائر CMOS. أيضاً، دوائر CMOS لَيسَت حرجة جداً فيما يتعلق بتداخل الحديث وضوضاء خط التغذية والأرضي ولذا لا تتطلّبُ موصلات تغذية وأرضَى عريضة. في توزيع الأسلاك بين ألواح الدوائر المطبوعة، يجب تجنب استخدام الكوابل ذات الممانعة ٥٠ أوم. أيضاً، لبقاء ممانعة الموجةَ الكهربائيةِ Zo عاليةِ، يَجِبُ أَنْ لا يمر الارضي بالقُرْب من خطوطِ الاشارة.

الدوائر المتكاملة ECL :

ممانعة الموجةَ الكهربائية المطلوبة لموصلات الاشارة للدائرة المتكاملة ECL هى في الحيز من ٥٠ أوم -١٠٠ أوم. ممانعة الموجةَ الكهربائية المطلوبة لدوائر المتكاملة ECL أقل بالمقارنة مع الدوائر المتكاملة TTL ودوائر CMOS. هذه القيمةِ الصغيرةِ لممانعة الموجةِ الكهربائيةِ يُمْكِنُ أَنْ تُحْصَلَ عليها مِنْ الموصلات العريضة. عرض الموصل الموصىَ به للدوائر المتكاملة ECL هو ١-٣ مليمتر.

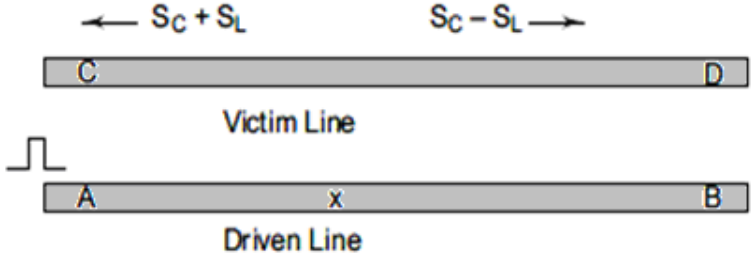
حتى بمثل ممانعات الموجةِ الكهربائيةِ هذه، الإنعكاسات من المحتمل أَنْ تَحْدثَ، حيث تُؤثّرُ على أدائِها خصوصاً عند الحافةِ المتصاعدةِ rising edge التي خلالها يتسبب الكثير مِنْ التأخيرِ الإضافي؛ الذي عموماً لَيسَ مقبولاً لدوائرِ ECL. لذا فإن عناصر الدائرةِ الخارجيةِ في شكل سائق خَطِّ/مستلم خَطِّ للدوائر التكاملية المستعملة في أنظمةِ ECL التي، على الأقل، تعطي توافق جزئي للممانعة الكهربائيةِ.

٤-٢-٢-٢ تداخل الحديث

Cross-talk:

يعتبر تداخل الحديث لا شيء سوى أنه تداخل إشارتين متجاورتينِ معاً. إذا كان هناك موصلى إشارتين يمران بجوار بعضهما البعض متوازيين لمسافة مقدارها تزيد عن ١٠ سنتيمتر للدوائر (ECL)، 20 سنتيمتر للدوائر (TTL) و٥٠ سنتيمتر للدوائر (CMOS)، فإن هذا يستحث ارتفاع مفاجيء قصير short spike أو حتى قطار من نبضاتِ على الموصل المجاورِ. من الواضحُ أنه في حالة الدوائر CMOS، يكون تداخل الحديث أقل خطراً بكثيرُ بسبب المناعة الاعلي للضوضاءِ لعائلة الدوائر المتكاملة CMOS. من الناحية الأخرى، الدوائر المتكاملة ECL لديها مناعة للضوضاءِ أقل وستكُونُ أكثر حسّاسية إلى تداخل الحديث عن الدوائر TTL.

لكي نفْهمَ أساسياتَ تداخل الحديث، اعتبرُ الأثرَ أو المسار A-B الموضح في الشكل رقمِ (٤-١٤). دعنا نَفترضُ أنّ هناك نبضة تسافرُ أسفل الخَطِّ من A إلى B وهى الآن عند النقطةِ "X". هناك أثر أو مسار قريب، C-D. قَدْ تتُزاوجُ أي إشارة بين المسارين A-B وC-D عند النقطةِ X . من المحتمل ذلك أن بعضِ الإزدواج السعوي، بالرغم من أنه صغير، يُتطوّرُ بين الأثرين أو المسارين. وحيث أن المسارين المتوازيين يشبهان المحوّل، فإنه من المحتمل أن يحدث بعض الإزدواج الحثّي بين المسارات أيضاً. في أكثر تطبيقاتِ لوح الدائرة المطبوعة، على أية حال، المادّة بين المسارات من المحتمل أن تكون عازلة بدرجة جيد جداً، لذا فإنه من المحتمل عدم وجود إزدواج مقاومة بين المسارات. حيث التأثيرات السعوية والحثية تم خفضهما بالمسافة، أيّ إزدواج يُخفّضُ كلما زادت مسافة الفصل بين المسارات. لذا، الفصل الاكبر بين المسارات ينصح به لخفض تداخل الحديث (Scaminaci Jr., 1994).



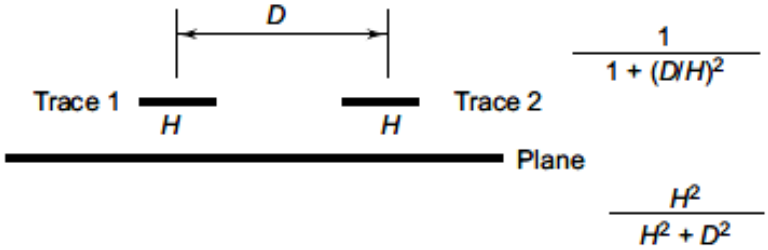
شكل رقم (٤-١٤) يوضح الاشارة على خط مدفوع، A-B، عند النقطة X ينقل أو يزدوج اشارة ضوضاء على الخط الضحية، C-D ، عند نفس النقطة.

قَدْ يُلاحظُ بأنّ الإزدواج بين المسارين A-B وC-D يَحْدثُ فقط في حالة ظاهرة التيار المتغير ac ولَيسَ مع إشارةِ الحالة الثابتةِ dc. لأى إشارةِ ac، سيكون الإزدواج أعظم عند التردد الأعلى أَو مكوّنات التردد لتوافقياتِ الإشارةِ. لذا، لتَخفيض تداخل الحديث، فإن توافقيات التردد الأقل وأزمنة الإرتفاعِ الأبطأ موصّى بها. تأثيرات الإزدواج يُمكنُ أَنْ تَكُونَ ملخصة كالتّالي (بروكس ١٩٩٧):

١. إزدواج السعة المتبادلِ Mutual Capacity Coupling — الإشارة S_C المتسببة بواسطة الازدواج السعوي بين المسارين، حيث تسافرُ على طول المسار الضحيّةَ في كلا الإتّجاهين الأمامي والخلفي بنفس القطبية.
٢. الإزدواج الحثّي المتبادل — الإشارة S_L المتسببه بواسطة الإزدواج الحثّيِ بين المسارين، حيث تُسافرُ على طول المسار الضحيّةَ في كلا الإتّجاهين الأمامي والخلفي مَع التقاطب (القطبية) المعاكس.
٣. الإتجاهية Directionality — تداخل الحديث يَدْخلُ في كل من الإتّجاهين الأمامي والخلفي. تداخل الحديث الامامي السعوي والحثي المتبادل يكونا تقريباً متساويان ومتعاكسان ويميلا إلى الإلْغاء. وإذا كانا متساويان تقريباً ويُعزّزان بعضهما في الإتّجاهِ العكسيِ، ولذا يميلا إلى أن يكونا مضافان.
٤. المقدار Magnitude — يميل تداخل الحديث الأمامي إلى الظُهُور مثل الإشارةِ المدفوعة driven signal، و(على الأقل نظرياً) الاستمرار في النمو أكثر، بمقدار الأطول لطول الإزدواج A-B وC-D. تداخل الحديث العكسي يميل لأَنْ يَكُونَ لديه شكل مستطيل (استجابةً لدالة الخطوةِ step function) الذي يَصِلُ حَدّ أعلى وبعد ذلك لا يَزِيدُ أبعد بغض النظر عن طولِ الازدواج.
٥. البيئة Environment — إذا كان المسارين محتويان ضمن مادّة متجانسة، فإن مركبات تداخل الحديث الامامية الحثية والسعوية تكون في الغالب متساوية ويتم إلغاء بعضها البعض. لذا، لا داعي للقلق عموماً حول تداخل الحديث الامامي في مثل هذه البيئاتِ. إذا كانت المادّة المحيطة لَيستْ متجانسةَ، فإن مركب الحث يميل إلى أن يكون أكبرَ مِنْ المركب السعوي capacitive. لذا، لتَخفيض تداخل الحديث، فإن المسارات الحسّاسة يَجِبُ أَنْ تُظْلَّ في بيئة الخط الشريطِي strip line (مسارات محتواه ضمن مادّة متجانسة).

لإبْقاء تداخل الحديث منخفض، فإن ممانعة الموجةَ الكهربائية بين موصلات الاشارة والأرضِي يَجِبُ أَنْ تكُونَ منخفضة. من الواضح أن الاقتراب من اللوح الارضي سَيُقلّلُ تداخل الحديث بالتأكيد وبشكل ملحوظ. في الحالاتِ الأكثرِ حراجاً للدوائر TTL وECL، نجد أن مشاكل تداخل الحديث يُمْكِنُ أَنْ تحْلَّ بإمرار الخَطّ الأرضي بين خطى اشارة والحفاظ على ممانعة موجةً صحيحةً ومناسبة.

في دوائرِ السرعةِ العاليةِ، مشكلة تداخل الحديث بين المسارات المتوازية تُصبحُ حادّة. في الشكل رقمِ (٤-١٥)، يتناسب تداخل الحديث مع $H^2/(H^2 + D^2)$، حيث أنَّ H هى المسافةَ بين المسار والمستوى، وD هو الفصل بين المسارات. بشكل حدسي، تداخل الحديث يُقلُ كلما زاد الفصل بين المسارات. لكن، كُلّ الأشياء الأخرى تَكُونَ متساوية، وتداخل الحديث سيقل كلما نقصت المسافة بين المسار والمستوى. لذا، فإن المستويات تصبح مساعدة في التَخفيض والسَيْطَرَة على تداخل الحديث (بروكس، ١٩٩٧ b).



شكل رقم (٤-١٥) يوضح تكوين نموذجي لتداخل الحديث.

إذا كانت المسارات المتوازيةِ عند ارتفاعات مختلفة، فإن الدالة H^2 تصبح في الحقيقة حاصل ضرب الارتفاعين. كما هو موضح في الشكل رقمِ (٤-١٦)، فإن المعادلة لتداخل الحديث لهذا الترتيبِ تصبحُ .1/1+(*D*²/ *H1* x *H2*).



شكل رقم (٤-١٦) يوضح التكوين النموذجي لتداخل الحديث مع الارتفاعات المختلفة للمسارات.

تَخمين تداخل الحديث يُمْكِنُ أَنْ يَكُونَ صعب في أغلب الأحيان. النظرة المعطاة تَعتمدَ على عِدّة فرضيات تَبْسيطية ويُمْكِنُ أَنْ تُؤدّي إلى النَتائِجِ القريبة للحقيقة لكنها لَيستْ دقيقةَ بالضرورة. النظرة العملية هى معايرة الاسلوب الفني بواسطة تطبيقه على الألواحِ التي صُمّمتْ في الماضي والمعروفة بأنها أمّا جيدة أَو سيئة فيما يتعلق بأداءِ تداخل الحديث. والذي سينير البصيرةَ هو كَمْ ستكون الألواح المستقبلية مستندة على هذه الحساباتِ.

٤-٢-٢-٣ ضوضاء خط الأرضي والتغذية

Ground and Supply Line Noise:

الآثارَ الرئيسيةَ للتغذية supply وإشارةِ الأرضي ground signal هى الارتفاعات المفاجئة للتيار current spikes في الخَطِّ الأرضيِ. هذه الارتفاعات المفاجئة للتيار سَتَخْلقُ مشاكلَ الإرسالِ عندما تبدأ الدوائر المتكاملة الرقمية بعملية التحويل. الارتفاعات المفاجئة للتيار الداخلي والخارجي تتُراكّبُ ويجب أنْ تُحْمَلَ بواسطة نفس جهد التغذية (V_{CC} (supply وخطوط أرضية. إذا كان هناك العديد مِنْ البوابات gates المماثلةِ أَو المذبذبات النطاطة flip-flops التي تكون موصولُة إلى نفس النقطةِ، فإن الارتفاعات المفاجئة للتيار سَتُصبحُ مفرطة والحالة تُصبحُ أسوأَ.

هذه مشكلة خطيرة مَع TTL وفي الشكلِ المخفّضِ في دوائرِ ECL؛ وفي الشكل المخفّض جداً في دوائرِ CMOS. أي مصمم يَجِبُ أَنْ يَلتزمَ بقواعد التصميمِ التاليةِ اثناء تخطيطه موصلات خطوط التغذية والارضي في تصميمِ لوح الدائرة المطبوعة PCB:

١. ممانعة الموجةَ الكهربائية بين خطى التغذية والأرضي يَجِبُ أَنْ تكُون منخفضةَ، في حدود ٢٠ أوم أَو أقل. هذا سَيُثبّتُ أو سينظم تغير الجهد بين Vcc والأرضي. وهذا يُمْكِنُ أَنْ نحْصَلَ عليه بواسطة تخصيص موصلات التغذية والارضي العريضة الموضوعة صح عبر بعضها البعض على الجوانب المتقابلة لألواح الدوائر المطبوعة ثنائية الجانب.
٢. موصل الارضي المستقر كهرومغناطيسياً يُمْكِنُ الحصول عليه إلى حدٍ كبير بواسطة تَزويد الارضي بسطح نحاسي كبير. هذا يمكن إنجازه بواسطة تخصيص لوح أرضي كامل في حالة الالواح المتعددةِ الطبقات أَو تْرِكُ اسطح النحاسَ في كُلّ الأجزاءِ الغير مستعملةِ على لوح الدائرة المطبوعة مثل الزوايا،.. الخ. ، وإيصالُها إلى الأرضيِ. المساحة النحاسية الكبيرة سَتَجْعلُ الأمر صعباً على الأرضي من أن يصعد ارتفاع جهدي مفاجيءvoltage spike. بدلاً من

ذلك، يستعمل شبكةَ مباشرةً من موصلات الأرضي الواسعِة الفراغات كأرضي مثالي لألواح الدائرة المطبوعة الرقمية.

٣. يَتجنّبُ إسْتِعْمال نفس الخطوطَ الأرضيةَ دائماً للدوائرِ الرقميةِ وللدوائرِ التماثلية الحسّاسةِ، لأن خَطّ الأرضي الرقمي دائماً لَهُ بَعْض الضوضاءِ الأرضيةِ، التي قَدْ تَكُون في مدى الميللي فولت millivolts.

٤. إستعملْ مكثّفاتَ فك إزدواج في خَطِّ تغذية القدرة: لكُلّ ٢ إلى ٣ من الدوائر المتكاملة النوع TTL، مكثّفات فك ازدواج ذات القيمة ١٠ نانو فاراد تَستعملُ عادة بينما للدوائر C-MOS و ECL، مكثّفاتِ بقيمة ٥ نانو فاراد مُسْتَخْدمة عادة. من المفضّلُ إسْتِعْمال مكثّفاتِ الرقاقةِ الخزفيةِ ولَيسَ مكثّفاتَ أليكتروليتيةَ لأغراضِ فك الإزدواج.

القواعد أعلاه يجب أنْ تُتْلَى بصرامة لألواح الدوائر المطبوعة النوع TTL لأن ارتفاعات التيار المفاجئة جداً current spikes تكون عالية جداً في هذه الدوائرِ الرقميةِ. لذا ، فإن سطح الأرضي الكبير يصبح ضروري جداً بشكل مطلق في مثل هذه الحالاتِ. على أية حال، في الدوائر C-MOS، نجد أن خطوط الأرضي الأضيق تكون مقبولة.

٤-٢-٢-٤ التداخل الكهرومغناطيسي مِنْ الضوضاءِ النابضةِ

Electromagnetic Interference from Pulsed Noise:

الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يُؤثّرُ على أداءِ الدائرةِ عكسياً يصطلح على تسميته عموماً بالتداخل الكهرومغناطيسي EMI electromagnetic interference. الأجهزة الإلكترونية الرقمية عادة تَحجب بطريقة حَسنة لتَفادي التداخل الكهرومغناطيسي. التحجيب هو عبارة عن إستعمالُ الموادِ الموصّلةِ لتَخفيض التداخل الكهرومغناطيسي المَشْعُوع بواسطة الإنعكاسِ و/ أَو الإمتصاص. التحجيب يُمْكِنُ أَنْ يطبق إلى مساحات مختلفةِ مِنْ التغليف الإلكتروني، مِنْ مضمّناتِ enclosures الأجهزة إلى البطاقات الإلكترونيةِ أَو العناصر الفرديةِ. على أية حال، بَعْض التداخلِ قَدْ يكون ما زالَ يَدْخلُ النظامَ الرقميَ، لأحد الأسباب أَو سبب آخر. التأثير الشائع جداً هو ذلك المأخذ الرئيسي mains وكوابل التغذية المُصَابة بضوضاءِ من النوعِ النابض ذو التردد العالي جداً بسبب المفاتيح الكهروميكانيكية electromechanical، والمحوّلات commutators، والمحرّكات motors، الخ. هذه الضوضاءِ من النوعِ النابض مَحْمُولةُ إلى الغلافِ بواسطة كابل المأخذ الرئيسي ويُزعجُ النظامَ

بالكاملَ، مؤثراً على كل من التغذية بالقدرة وموصلات الاشارة. هذه المشاكلِ يُمْكِنُ أَنْ تُحْلَّ بالتَزود بمرشِحَ EMI في جانبِ التغذية الرئيسية. روبنسن (١٩٩٠) وضّحُ أنواعُ التحجيب المطلوبةِ لحِماية الأجهزةِ الإلكترونيةِ ضدّ التداخل الكهرومغناطيسي والتردد الراديوي.

إستعمال فيلمِ سميك من البوليمر polymer للحمايةِ المربحة للتوافق الكهرومغناطيسي EMC على الواح الدوائر المطبوعة لتطبيقات السيارات، عن طريق متطلبات EMC الصارمة جداً، مَوْصُوفُة مِن قِبل Saltzberg وآخر (١٩٩٦). بينما شرح Markstein (1995) نظريةَ التحجيب shielding ومُنتَجاتِ التحجيب shielding products المتوفرة في السوقِ لتَطبيق الحمايةِ من التداخل EMI للعناصر، وألواح الدوائر المطبوعة PCBs والأنظمة.

على أية حال، في حالة الدوائر TTL وأيّ عائلة منطقِ أسرعِ أخرى، من الصّعبِ في أغلب الأحيان تَرْشيح كُلّ الإضطرابات بالتحجيب ومرشِحِ المأخذ الرئيسي. لذا، إذا كانت الدوائر TTL مستعملُة في بيئة ضوضاء EMI عاليةِ البيئة، كان من الضروريُ حفظ المسافةِ بين خطوطِ الإشارة المنطقيّةِ وخَطِّ الأرضيِ بمقدار صغير. هذا يَعْني بأنّ خطوطَ الاشارة والأرضي يَجِبُ أَنْ تمر قريبة من بعضها البعض على ألواح الدوائر المطبوعة وأيضاً عندما يتم التوصيل الداخلي على الواح الدوائر المطبوعة.

كما أن الدوائر CMOS أقل حسّاسية بكثيرُ إلى الإضطراباتِ عنْ الدوائر TTL، لذا لَيسَ من الضروريَ عادة إبْقاء خطوط الإشارةِ قريبة من خَطّ الأرضي. على أية حال، الدوائر المتكاملة CMOS تصبحُ محطّمَة بسهولة بواسطة الجهود الزائدة overvoltages، وهناك دوائر أَو إجراءات حمايةِ خاصّةِ، خصوصاً ضدّ جهود الالكتروستاتيكية يجب اتباعها.

٤-٣ قواعد التصميمُ لدوائرِ التردد العالي

Design Rules for High Frequency Circuits:

الإشارة التي لَها تردد أعلى ٣٠٠ ميغاهيرتزِ (في الدوائرِ الرقميةِ) و ١٠٠ ميغاهيرتز (في الدوائر التماثلية) يُمْكِنُ أَنْ تنسب إلى دوائر إشارات التردد العالي. عند هذه الترددات، القِطَع القصيرة من الموصلات على لوح الدائرة المطبوعة تعمل كخطوطِ إرسالِ (تراسل) transmission lines.
أي موصل أَو لوح دائرة مطبوعة يعتبر كخَطّ إرسالِ إذا كان طولِه ' l ' (بوحدة الأمتار) :

$$l > \frac{3\ \text{MHz}}{f_{upper}}$$

حيث f_{upper} أعلى تردد في الاشارة بالميجاهيرتز

مثل خَطِّ الإرسالِ هذا لَهُ ممانعة كهربائية معينة، مسمّاة ' بممانعة الموجةِ الكهربائية '. الموصل العريض لَهُ ممانعة موجةِ كهربائية أصغرِ مِنْ الموصل الضيق. بنفس الطريقة، الموصل الذي يكون قُرْيب من مستوى الأرضي سَيكونُ لديه ممانعة موجةِ كهربائية أصغرِ مِنْ نظيره الذي يكون بعيد. في خط الإرسال، إذا كانت ممانعة الموجةَ الكهربائيةِ لَمْ تتوافق مع المصدرِ و/ أَو ممانعة الحملِ الكهربائية، فإنه يحدث إنعكاسِ. مثل هذه الإنعكاساتِ لَيستْ مرغوبةَ لأنها تسبب فقود في عرض النطاق bandwidth وزيادةِ في أزمنة الإرتفاعِ والسقوطِ للنبضاتِ. لذا ، فإن عدم التوافق على كلا الجانبينِ يجب أنْ يُتفادى خلال التصميمِ الصحيحِ للوح الدائرة المطبوعة عندما يَتعاملُ مع التردد العالي والنبضاتِ السريعةِ.

زيادة زمن الإرتفاع للنبضة بسبب عدم توافق الخَطَّ سَيَكُونُ ضعف تأخيرِ إرسالِه تقريباً بمقدار من ٥ –١٠ نانوثانية/متر. كتقدير أوّلي، يُمْكِنُ أَنْ يُؤْخَذَ ك١٠ –١٠٠ نانوثانية/متر أَو ٠.١ –١.٠ نانوثانية / سنتيمتر

If $R_S, R_L << Z_O$, the line behaves as an inductor,
and if $R_S, R_L >> Z_O$, the line behaves as a capacitor.
Where
R_S = Source impedance
R_L = Load impedance
Z_O = Wave impedance of the transmission line.

لذا، من الضروري توافق ممانعة الموصل الكهربائيةِ مع ممانعة المصدرِ ومع ممانعة الحمل. مع هذا التوافق، سيقدم الخَطّ أيّ فقد ملحوظ بالكاد مِنْ الاتساع amplitude في مدى ترددِ الإهتمامِ. على أية حال، للموصلات الأقصرِ، سيكون التوافق صعب جداً في أغلب الأحيان والموصلات بعد ذلك سَتتصرّف أمّا سعوياً أَو بشكل حثّي. يَجِبُ من ثمّ أن يقرّرْ مصمم لوح الدائرة المطبوعة PCB أيٍ مِنْ الإثنين يفضل، الموصل السعوي capacitive أَو الموصل الحثّي.

تَلْعبُ خطوطُ التغذية والارضية الكهربائيةِ دورِ مهمِ أيضاً في تطبيقاتِ التردد العالي. هذا لأن التيارَ المسحوب مِنْ خَطِّ تغذية القدرة يعود عكسياً في الأرضِي، حيث يظْهرُ كمكوّنات تردد عالي، مثل الارتفاعات المفاجئة للتيار current spikes . لذا، فإن الجهد المستمر dc لتغذية القدرة لا يَبْقى ثابت، ويقود إلى تدهور هامّ في سلوكِ الدائرة. لذا، كقاعدة إجرائية ground rule ، خطوط تغذية القدرة يجب أنْ تُبقي قصيرة بقدر الإمكان.

التعليماتَ التاليةَ مفيدة لتصميم لوح دائرة مطبوعة لدائرة تردد عالي:

١. إستعمال مستوى أرضِي أَو سطحِ أرضيٍ كبيرِ جداً لموصلات الأرضيِ.
٢. إستعملْ موصلات تغذية قدرة عريضة.
٣. خطوطَ تغذية القدرة والارضي يَجِبُ أَنْ يمرا قريبين من بعضهما البعض ويَجِبُ أَنْ يَكُونا متوازيينَ.
٤. حاول وضع مكثّف فك إزدواج بين الأرضِي وتغذية القدرة.
٥. طول الموصل لنظام النبضِ السريعِ fast pulse system يَجِبُ أَنْ يَكُونَ قصيرَ كتأثير القشرة skin effect وفقود العازلِ تَزِيدُ بالنسبة إلى الطولَ.
٦. لألواح الدوائر المطبوعة ذات المقاس الكبير، تَلْعبُ فقود العازل دورَ مهمَ. في مثل هذه الحالاتِ، استعملُ لوح الدائرة المطبوعة مَع إتّجاهات (تعليمات) التردد العالي المناسب.
٧. قرّرْ أَيّ العناصرَ الطُفيليةَ (capacitiveالسعوية والحثّية) أكثر ضرراً وقم بتصميمَ الشكل العملي الموصل وفقاً لذلك.
٨. حافظ على كُلّ الخطوط التي لَمْ تتوافق ممانعتها بأن تكون قصيرة جداً، ما عدا ذلك فإن زمن الإرتفاع يزيد ويُمكنُ أَنْ يكُونَ عال جداً حتى ١ نانوثانية/سنتيمتر.
٩. زوّدْ خطوطَ أرضيةَ (مأرضة أَو موصولة عن طريق مكثّف إلى الأرضي) عندما تكون من المحتمل السعة الطُفيلية لديها تأثير متدهور.

٤-٤ قواعد التصميمُ لدوائرِ النبضِ السريع

Design Rules for Fast Pulse Circuits:

أي موصل على الدائرة المطبوعة سَيتصرّفُ كخَطّ إرسالِ إذا كان طولِه l (بالأمتارِ):

$$l > \frac{t_r}{100\,\text{nsec}}$$

حيث t_r = زمن إرتفاعِ النبضِ بالنانوثانية nsec.

إذا كان هناك نبض سريع يُسافرُ على خَطّ، فإن الحالات التالية يُمْكِنُ أَنْ تَظْهرَ:

١. إذا كان خَطِّ التراسل أَو التوصيل الداخلي interconnection متوافق مع كلا من المصدر والحمل، وإذا كان خَطِّ الإرسالَ لَيسَ طويلاً جداً، فإنه سيحدث تأخير بسيط simple delay تقريباً يساوي ٥ نانوثانية/متر.
٢. إذا كان خط الإرسالِ متوافق عند جهة أو طرف واحد، أمّا في المصدرِ أَو الحملِ، فإنه سيكون هناك إنعكاس مفرد، إمّا في المصدرِ أَو في الحملِ.
٣. إذا كان خَطِّ الإرسالَ غير متوافق في كلتا النهايتين، فإنه سيحدث إنعكاسات متعدّدة، التي سَتخْلقُ الإضطراباتَ ويَبطئ أزمنة الإرتفاعَ إلى حدٍّ كبير والسقوط للنبضات. لذا ، فإن عدم التوافق على كلا الجانبينِ يجب أنْ يُتفادى متى نتعاملُ مع النبضاتِ السريعةِ.

إذا كان عدم التوافق ارتفع لحوالي ±٢٠ بالمائة، فإن النبض الناتج سَيَكُونُ مشوّه ويُمْكِنُ أَنْ يُصبحَ مدوّر أو ملفوف بدلاً مِنْ أنْ يكونُ لديه حافات حادّةُ.

عندما يتم توصيل إثنان من ألواح الدوائر المطبوعة تتضمّنُ توصيلات أطولَ مِنْ ١٠ –٢٠ سنتيمتر، فإن وصلة التوصيل يَجِبُ أَنْ تكُونُ من إمّا الكابلات المحورية coaxial cables أَو على الأقل أزواج مجدولة twisted pairs (تشمل سلك إشارة مجدول بشكل مقترب مع سلك الارضي)، إنعكاسات متعدّدة معقّدة عادةً سَتَحْدثُ، مسبّبة السلوك المتقلّب في الدائرةِ. إنّ ممانعة الموجةَ الكهربائيةَ للكوابل المحورية المستعملةِ عموماً هي ٥٠ و ٧٥ أوم . الأزواج المجدولة لَها ممانعات كهربائيةُ بين ١٠٠ و ١٥٠ أوم.

في دوائرِ النبضِ السريعةِ، هناك أنواع مُخْتَلِفة مِنْ الفقود وخصوصاً تأثير القشرة skin effect تُحدثُ وفقود العازل تَزِيدُ تأثيرها على زمن الإرتفاعَ كطول موصل متزايدُ. لذا، فإن القاعدة الأكثر أهميةً في دوائرِ النبضَ والتردد العالي هى أَنْ بقاء الموصلات قصيرة بقدر الإمكان. الإجراءات المعيّنة المأخوذة لتَخفيض مثل هذا النوعِ مِنْ الفقود تجدها مُفصّلة فيما يلي:

١. فقود التأثيرِ القشري Skin-effect losses : قم بزيادةُ سمك لوح الدائرة المطبوعة واحفظ طول الخط صغير.
٢. فقود الإشعاعِ Radiation losses : إستعمال مستوى أرضي على أحد جوانب لوح الدائرة المطبوعة، يَنْقصُ سُمكَ لوح الدائرة المطبوعة ويتجنب عدم الاستمرارية أو التوقفاتَ. قم بإمرار خطوط الإشارةُ بالقُرْب من مستوى الأرضي.
٣. فقود العازل Dielectric losses : إستعمال عازل تردد عالي جيد للوح المدعوم الخاص بالوح الدائرة المطبوعة.

بسبب هذه الفقود، فإن تعليمات التصميمَ هى: للنبضاتِ السريعة جداً (tr <1 nsec)، يَجِبُ أَنْ تُبْقَى الخطوط المتوافقة قصيرة جداً. تَزِيدُ أزمنة الإرتفاعِ للخطوطِ المتوافقة بمقدار ١ إلى ١٠ بيكوثانية/سنتيمتر أَو ١٠٠ إلى١٠٠٠ بيكوثانية /متر بسبب هذه الفقود.

تحديات التصميمُ في التردد العالي ودوائرِ النبضِ السريعةِ يُمْكِنُ أَنْ تُلخّصَ كما يلي:

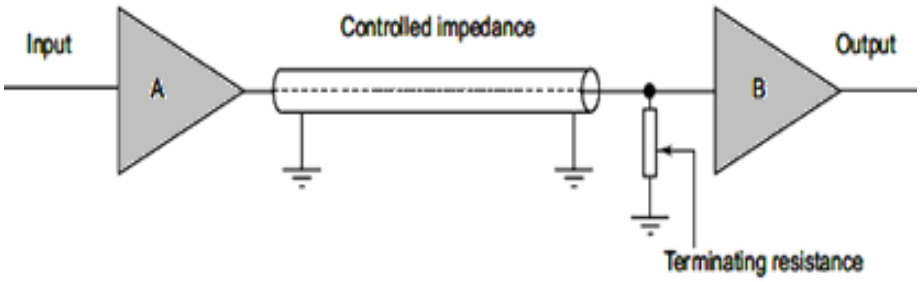
- توقيت النظام System timing : بينما يتم تصميم ألواح الدوائر المطبوعة ذات التردد العالي، يَلْعبُ توقيت النظامِ دوراً مهماً. يعني توقيت النظامِ التدقّيقُ checking سواء تصبح البياناتَ محولة بشكل موثوق أَو لا؟ الموصلات من عنصر إلى عنصر آخر يَجِبُ أَنْ تكُونَ قصيرة بقدر الإمكان لإنْجاز توقيت النظامِ. على سبيل المثال، موصل اشارة تردد عالي بطول كبير قَدْ يُؤدّي إلى منطقِ غير مقصودِ. ما كان يُفترض أنْ تَكُونَ قُرأته 1 سَيَقْرأُ ك 0 .
- سلامة الشكل الموجي Waveform integrity : تَعْني سلامةَ الشكل الموجي بأنّ الإشارةَ يَجِبُ أَنْ تقابل المتطلبات الكهربائية. يَجِبُ أَنْ تحْصلَ على الاشكال الموجية waveforms المطلوبة والمشابه لنَتائجِ المحاكاةِ. يُمْكِنُ أَنْ تُنجَزَ سلامة الشكل الموجي Waveform بحِساب ممانعة الموجةِ الكهربائيةِ الصحيحةِ لموصلات الاشارة. ممانعة الموجةِ الكهربائية لموصل الاشارة يَعتمدُ على عرضِ الموصل.
- تداخل الحديث Cross-talk : مثل الإنعكاسِ reflection ، يعتبر تداخل الحديث ظاهرة خَطِّ الإرسالِ. تداخل الحديث يُمْكِنُ أَنْ يحفظ منخفضاً إذا كان خَطّ الأرضِي أَو مستوى الأرضي قريب. مشاكل تداخل الحديث هذه يُمْكِنُ أيضاً أن تكُونُ مَحْلُولة بالإبْقاء على ممانعة موجةِ كهربائيةِ مناسبة لموصل الاشارة. ممانعة الموجة لموصل الاشارة تعتمدُ على عرضِ الموصل. عادة عرض الموصل يتناسب عكسياً مع ممانعة الموجةَ الكهربائيةِ لموصل الاشارة.

٤-٤-١ إعتبارات الممانعة المحكومة

Controlled Impedance Considerations:

وُضّحَ أعلاه أنّ سرعات التحويل السريعة اليومِ أَو مسارات لوح الدائرة المطبوعة ذات المعدل العالي للساعةِ تم علاجها كخطوطُ إرسالِ حيث يجب أن تكون خصائصِها الكهربائيةِ تَحْتَ سَيْطَرَة مصممِ لوح الدائرة المطبوعة PCB. من الواضح، أن البارامتر الحرج هو الممانعة المميزةُ لمسار لوح الدائرة المطبوعة. عملياً، ممانعة المسار يَجِبُ أَنْ تكون محكومة عندما يتم تَصميم سرعات حافة رقمية أسرع مِنْ ١ نانوثانية أَو ترددات تماثلية أكبر مِنْ ٣٠٠ ميغاهيرتز. عُموماً، الممانعة الكهربائية المحكومة يَجِبُ أَنْ تؤخذ في الإعتبار عندما يَتجاوزُ الطولَ الكهربائيَ لخط الاشارة ٣٠ بالمائة مِنْ زمن إرتفاعِ الإشارة (Polar Instruments, 2001).

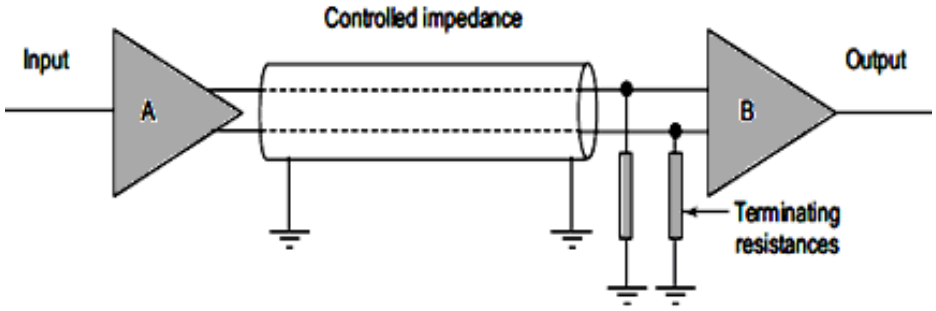
العناصر المثبتة على لوح الدائرة المطبوعة نفسها تمتلك ممانعة كهربائيةَ مميزةَ وممانعة التوصيل الداخلي لمسارات لوح الدائرة المطبوعة يجب أنْ تَختَارَ لتتوافق مع الممانعة الكهربائيةِ المميزةِ لعائلة المنطقِ قيد الإستعمال. بالإشارة إلى الشكل رقمِ (٤-١٧)، لكي يُزيّدَ نقلَ الاشارة مِنْ المصدرِ (العنصر A) إلى الحملِ (العنصر B)، ممانعة المسار يَجِبُ أَنْ تتوافق مع ممانعة الخرج لعنصر الإرسال (العنصر A) وممانعة الدخل لعنصر الاستقبال (العنصر B). للدوائر CMOS و TTL ، سَيَكُونُ بِحدود من ٨٠ إلى ١١٠ أومِ. إذا كانت ممانعة مسار لوح الدائرة المطبوعة الموصول مع عنصرين لا تتوافق مع الممانعة المميزة للعنصرين، فإنه سوف يحدث إنعكاسات متعدّدة على خَطّ الإشارة التي تؤدّي إلى أزمنة تحويل متزايدةِ أَو أخطاءِ عشوائيةِ في نظامِ رقمي عالي السرعةِ .



شكل رقم (٤-١٧) يوضح مسار لوح دائرة مطبوعة ونهايتيه

إنّ خَطَّ الإرسالِ ذو الانتهاء المفرد single-ended transmission line كما هو معروض في الشكل من المحتمل أنه الطريقُ الأكثر مشاركة لوصل العنصرين. في هذه الحالةِ، الموصل المفرد يُوصلُ مصدرَ لاحد العنصرين إلى حملِ العنصر الأخر. يزود مستوى الاسناد (الأرض) طريقَ العودةِ للإشارة. وهو يعتبر مثالُ لخَطٍّ غير متوازنِ unbalanced line. تَختلفُ خطوطُ العودةَ والإشارةَ في الهندسةِ — حيث المقطع العرضي لموصل الإشارةِ مختلف عن مقطع موصل مستوى الارض العائد.

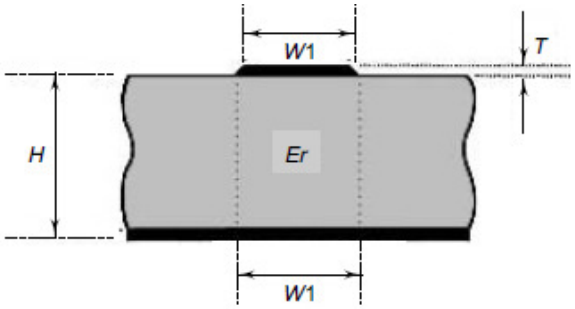
الممانعة الكهربائية المحكومة لألواح الدوائر المطبوعة تُنتجُ عادة بإستعمال خطوط التراسل الشريطية الدقيقة microstrip أَو خطوط التراسل شريطية الخط stripline في التكوين أحادي الطرف – غير متزن (unbalanced) single-ended أَو التكوين التفاضلي – المتزن differential (balanced). إنّ النمطَ التفاضليَ differential mode للتشغيل يوضح في الشكل رقمِ (٤-١٨). يُستَعملُ الترتيب التفاضلي differential configuration متى كانت مناعةَ الضوضاءِ أفضلِ والتوقيت المُحسَّنِ مطلوبين في التطبيقاتِ الحرجةِ. هذا الترتيب عبارة عن مثالُ لخط متوازن — مساري الإشارةَ والعودةَ لَهُما نفس الهندسةُ. تدفع الخطوطَ كزوج مع خَطٍّ واحد يُرسلُ شكل موجي لإشارة signal waveform بقطبية معاكسة إلى الآخر. المجالات المتولدة في الخطين سَتَمِيل إلى إلْغاء بعضها البعض، لذا EMI وRFI سَيَكُونانِ منخفضان عِنْ حالة الخَطِّ الغير متوازنِ، ومشاكل مع الضوضاءِ الخارجيةِ تكون مخفّضة.



شكل رقم (٤–١٨) يوضح مسار لوح دائرة مطبوعة تفاضلي.

ممانعة المسارعلى لوح الدائرة المطبوعة يُمكنُ أَنْ يكُونَ محكوم بواسطة التحكم بعناية للأبعاد الهندسية التالية (Bhardwaj، 2001)، كما هو معروض في الشكل رقمِ (٤-١٩):

١. العرض (w) والسُمك (t) لمسار الاشارة؛
٢. الإرتفاع لمادة (h) اللب core ومادّةِ الطبقة الرغوية preg على جانبي المسار؛
٣. ثابت العازل (D_k / E_r) لمادة اللب ومادّةِ preg؛ و
٤. ترتيب أو تكوين المسار والمستويات.



شكل رقم (٤-١٩) يوضح انشاء مسار شريطي دقيق سطحي.

العلاقة بين الممانعة المميزة characteristic impedance للمسار وهذه العواملِ الطبيعيةِ مُوَضَّحُة فيما يلي.

الممانعة الكهربائية (Z) :

- تتناسب عكسياً مع عرضِ المسار $(Z\alpha 1/W)$
- تتناسب عكسياً مع سُمكِ المسار $(Z\alpha 1/t)$
- تتناسب مع إرتفاعِ اللوح المدعوم $(Z\alpha h)$ ؛ و
- تتناسب عكسياً مع الجذر التربيعي للوح المدعوم $E_r\,(Z\alpha 1/\sqrt{E_r})$

الممانعة الكهربائية لمسار لوح الدائرة المطبوعة سَتَكُونُ مُحدَّدة بواسطة المعاوقات الحثية inductive reactance والسعوية capacitive reactance، والمقاومة والمواصلة conductance. ممانعات لوح الدائرة المطبوعة سَتَتَراوحُ نموذجياً مِنْ ٢٥ إلى ١٢٠ أومِ. عملياً، مصممو اللوح سَيُحدّدونَ قِيَمَ وتفاوتات الممانعة الكهربائيةِ لمسارات اللوح وتَعتمدانِ على صانع لوح الدائرة المطبوعة بأنه سَيَتوافقُ إلى المواصفاتِ.

حسابات الممانعة الكهربائيةِ عادة تكون معقدة جداً وتَعتمدُ على المتغيّراتِ صعبة التحكم فيها (UltraCAD Design, 2000). على أية حال، تَتطلّبُ أكثر التطبيقاتِ مسارات ذات ممانعات كهربائيةَ ثابتةَ، لكن لَيست بالضرورة مسارات بالقيمة المطلقةِ المضبوطةِ للممانعة الكهربائيةِ، ماعدا عندما يكون هناك وصلاتِ مواجهة interfaces مَع ألواح خلفية backplanes وبطاقات دائرةِ أخرى مطلوبة. الدوران ونقاط العبور vias عموماً لها تأثير أقل ما يمكن على الممانعة الكهربائيةِ، ماعدا ذلك فإن تحريك مسار الممانعة المحكومة من طبقة إلى آخرى يُمْكِنُ أَنْ يُسبّبَ مشاكل هامّة وغير ملحوظة مالم تكن الطبقتان على الجوانبِ المعاكسة مباشرةً من مستوى (اسنادي) توزيع قدرة مفردة.

أغلب الممانعات الكهربائيةِ المحكومة لألواح الدوائر المطبوعة تمْرُّ بنسبة ١٠٠ بالمائة إختبار. تتم قياسات الممانعة الكهربائيةِ عادة مَع time domain reflectometer (TDR). يطبقُ TDR خطوة جهد سريعةِ fast voltage step إلى قسيمة عن طريق كابل ممانعة محكومة ومجس. أيّ إنعكاسات في شكل الموجة النابضِة يظهر على TDR ويُشيرُ إلى التغيّرُ في قيمةِ الممانعة الكهربائيةِ. هذا معروف بالتوقف discontinuity (Polar Instruments, 2003). الجهاز TDR قادر على الإشارة إلى موقعَ ومِقياسَ منطقة التوقفِ. بإستعمال البرامج المتخصصة، فإن TDR يُمْكِنُ أَنْ يُجْعَلَ لتَخطيط رسم بياني للممانعة الكهربائيةِ على طولِ المسار تحت الإختبارَ على القسيمةِ. التمثيل التخطيطي الناتج لممانعة المميزة للمسار يسْمحُ للقياسات المعقّدةِ سابقاً لكي تُؤدّي في بيئة الإنتاجِ.

٤-٥ قواعد التصميمُ لدوائرِ الميكروويفِ

Design Rules for Microwave Circuits:

٤-٥-١ تعريفات أساسية

Basic Definitions:

قد تم شرح البعض منها في الأقسامِ السابقةِ التي في حالة دوائرِ التردد العالي، الموصلات على PCB تتصرّفُ كخطوط إرسال. إضافةً إلى الممانعة الكهربائية المميزة لخط الإرسالِ، هناك مصطلحات مفيدة أخرى يَجِبُ أَنْ نُفْهَمَ. وهى مدرجة فيما يلي:

معامل الإنعكاسِ Reflection Coefficient:

عندما يتم توصيل مصدر كهربائي إلى خَطّ إرسالِ الذي لَمْ يُنهي بممانعته المميزة، فإن الطاقةَ تصبح منعكسةً مِنْ نقطة الإنهاءِ. الإنعكاسَ يُعطي عادة ككسر من الموجةِ الساقطةِ كالتّالي:

$$\rho = \text{Reflection coefficient} = \frac{\text{Reflected wave amplitude}}{\text{Incident wave amplitude}}$$

نسبة الموجةِ الواقفةِ للجهد Voltage Standing Wave Ratio (VSWR):

عندما يطبق جهد جيبي sinusoidal إلى خَطّ إرسالِ، فإن الجهد بأي نقطة على طول الخط يُمكنُ أَنْ يكُونَ مكتسب بإضافة الجهود الساقط والمنعكس. في مثل هذه الحالةِ، إذا كان طولِ الخَطِّ أكبر مِنْ نِصْفِ الطول الموجي المناظر أو المقابل لترددَ الدخل، فإن نقاط الجهد العليا maxima والدنيا minima تكون مؤسسة على طول الخط. هذا يوضح في الشكل رقمِ (٤-٢٠). مِنْ هذا، يمكن تعريف نسبة الموجة الواقفة للجهد كما يلي:

$$VSWR = \frac{Maximum\ value\ of\ the\ voltage\ along\ the\ line}{Minimum\ value\ of\ the\ voltage\ along\ the\ line}$$

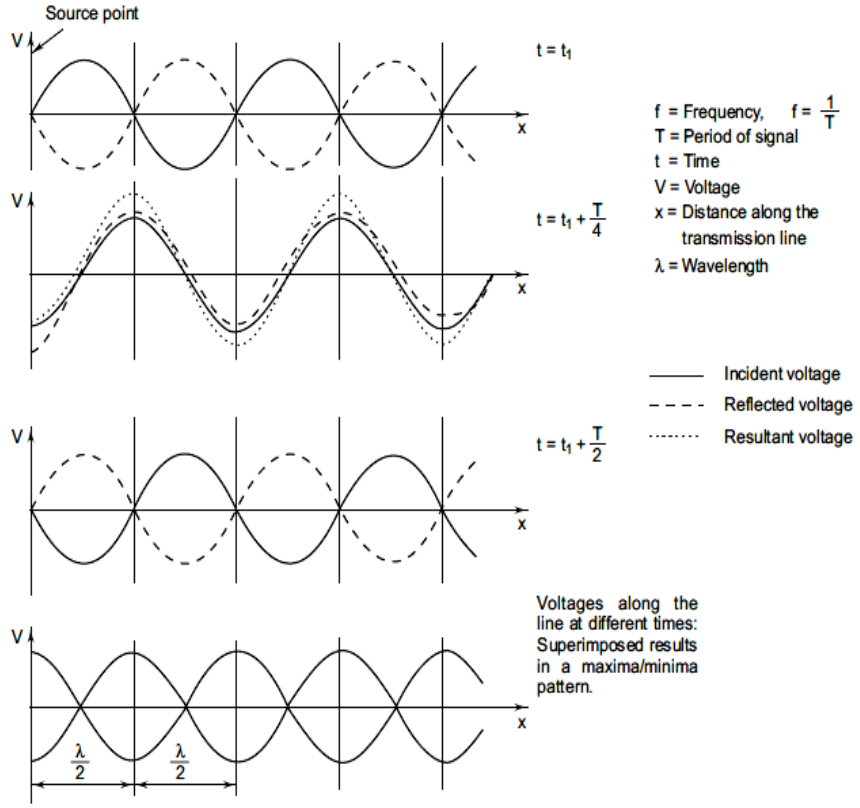
VSWR تنسب إلى ρ بواسطة العلاقة :

$$VSWR = (1 + \rho)/(1 - \rho)$$

أنماط الإنتشار Modes of Propagation:

عندما يتم توصيل مصدر كهربائي إلى خَطّ إرسالِ، فإن انتشار الموجةَ على طول الخَطِّ يُمْكِنُ أَنْ يَكُونُ مَوْصُوفاً بالكامل بوَصْف الإتّجاهِ فيما يتعلق بإتّجاهَ الإنتشار، وإختلاف الزمن والمقدارَ كهربائيِ للموجات الكهربية (E) والموجات المغناطيسية (H). هاتان الموجتان لَرُبَّما لَهُما العديد مِنْ التوجيهاتِ المحتملةِ فيما يتعلق بإتّجاهِ الإنتشار. كُلّ توجيه محتمل مدعو باسم نمط الإنتشار.

إحدى الأنواعِ الأكثر شيوعاً مِنْ الإنتشار هى النمط العرضي الكهربي المغناطيسي Transverse Electric and Magnetic mode (TEM). في هذا النمطِ، المجالات الكهربائية والمغناطيسية عمودية على إتّجاهِ انتشار الموجةِ.



شكل رقم (٤-٢٠) يوضح النقاط العليا والدنيا بطول خط التراسل.

٤-٥-٢ الخَطّ الشريطي والخَطّ الشريطي الدقيق

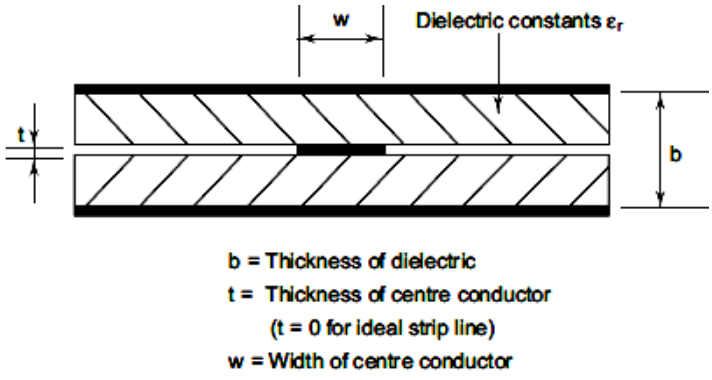
Strip Line and Microstrip Line:

اليوم مسارات لوح الدائرة المطبوعة عالية الاداء أصبحت مصنّعة كخطوط إرسال. من حيث المبدأ، هناك عِدّة أنواع من خطوطِ الإرسالِ المستويةِ planar transmission lines يُمْكِنُ أَنْ تُصْنَعَ. على أية حال، الخَطّ الشريطَي والخَطَّ الشريطي الدقيق microstrip يعتبرا من الأنواعَ الأكثر شيوعاً ويتم وصفهم فيما يلي.

٤-٥-٢-١ الخَطّ الشريطي Strip Line:

الخَطّ الشريطِي أساساً هو سندويتش مِنْ لوحى دائرتين مطبوعتين إحداهما ثنائية الجانب والأخرى أحادية الجانب. لوح الدائرة المطبوعة الثنائية الجانب تم تشكيل طبقة النحاس لأحد الجانبين على

هيئة خَطٍّ تراسل، أما الطبقة النحاسية على الجانب المقابل الآخر فقد تم تركها بالكامل كمستوى أرضي، أما لوح الدائرة المطبوعة الأحادي الجانب فالطبقة النحاسية تترك كمستوى أرضي بكامل مساحتها. هذا موضح في الشكل رقمِ (٤-٢١). نمطَ الإنتشار هو TEM. في هذا النمطِ، المجالات الكهربائية والمغناطيسية تكون عمودية على إتّجاهِ انتشار الموجةِ.



شكل رقم (٤-٢١) يوضح كيفية تحقيق الخط الشريطي عملياً.

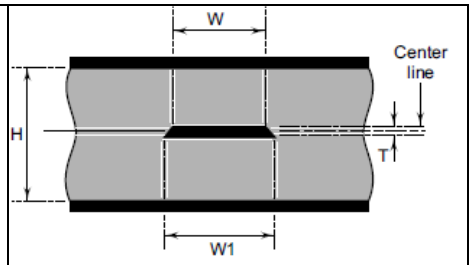
هناك نموذجان إثنان مِنْ ترتيباتِ الخط الشريطي stripline للوح دائرة مطبوعة:

١. خَطّ شريطِي متماثلِ أو متمركز Centred or Symmetric Strip Line : في هذا الترتيبِ، والذي يظهر في الشكل رقمِ (٤-٢٢)، مسار الاشارة محصورُ بشكل متماثل، وبمعنى آخر: متمركز بين مستويى اسناد اثنتين. ويعتبر هذا صعبُ الانجاز في أغلب الأحيان كلوح مدعوم أعلى وأسفل المسار سَيَكُونُ أمّا مادة المرحلة C-Stage أَو مادة المرحلة B-Stage (اللب core أو الطبقة اللاصقة العازلة pre-preg).

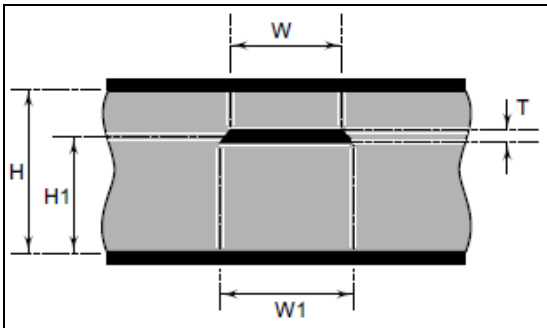
٢. خَطّ شريطِي غير متماثل أو خارج المركز Offset or Asymmetric Strip Line: في هذا الترتيبِ، الموضح في الشكل رقمِ (٤-٢٣)، المسار محصور بين مستويى اسناد لكنه أقربُ إلى أحد المستويين عِنْ الآخر.

٣. الخَطّ الشريطِي الثنائي Dual Strip Line: يظهر تركيبَ الخط الشريطي stripline الثنائي في الشكل رقمِ (٤-٢٤)، الذي لَهُ مسار مرآةِ ثاني وَضعَ عند مسافةِ مقدارها H1 مِنْ مستوى القمة الأرضي. في هذه الحالةِ، يصبح موصلى الاشارة محصوران بين مستويى الاسناد reference planes على الطبقاتِ المتجاورةِ. طبقتي الاشارة هاتان سَوف توجهان بشكل متعامد لتَقليل تداخل الحديث بينِ الطبقات؛ وبمعنى آخر: نجعل

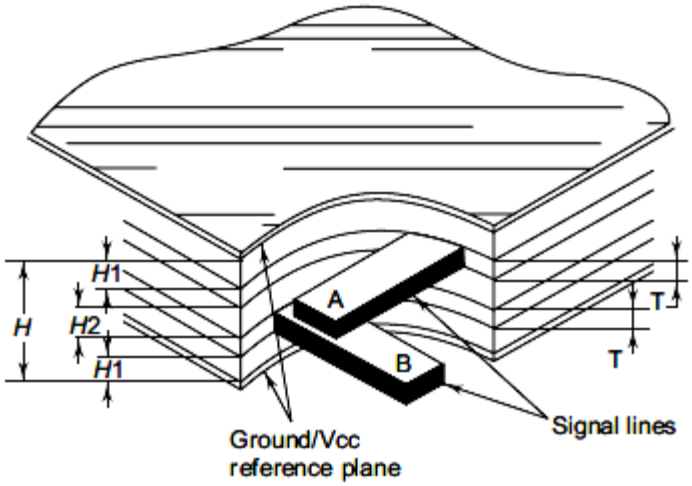
طبقاتَ الإشارة تتقاطع عند زوايا قائمة وذلك لتقليل مساحات التقاطع المتداخلة. ومن ثم يتصرف التركيب كتعديل مستقل للخطوط الشريطية striplines.



شكل رقم (٤-٢٢) يوضح تكوين الخط الشريطي المتماثل.



شكل رقم (٤-٢٣) يوضح الخط الشريطي الغير متماثل.



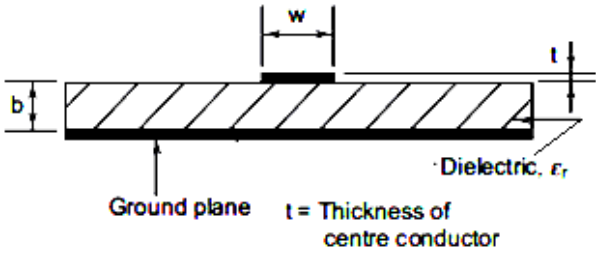
شكل رقم (٤-٢٤) يوضح خط شريطي مزدوج

سَتَكُونُ قيمة الممانعة الكهربائيةِ للخط الشريطي stripline، محددة بواسطة بنائِها الطبيعيِ والخاصية الكهربائية للمادّةِ العازلةِ. هذه العواملِ هى عرضَ وسُمكَ مسار الاشارة، وثابت العازل وإرتفاع مادة اللب core والمادّةِ الرغوية اللاصقة pre-preg على جانبي المسار وترتيبَ المسار والمستويات.

٤-٥-٢-٢ الخَطّ الشريطي الدقيق

Microstrip Line:

الخَطّ الشريطي الدقيق Microstrip Line لا شيء سوى أن لوح الدائرة المطبوعة ثنائي الجانب مَع خَطّ موصل على أحد الجانبين ومستوى أرضي على الجانبِ الآخرِ. هذا موضح في الشكل رقمِ (٤-٢٥). من ناحية أخرى ،خط التراسل الشريطي الدقيق microstrip transmission line يتكون من مسار موصّل بعرضِ محكوم على عازل بفقد منخفض ومثبت على مستوى ارضي موصل. العازل عادة ما يصنع من الابوكسي المقوى بالزجاجepoxy glass-reinforced مثل G10 أو FR-4، أو PTFE للترددات العالية جداً.



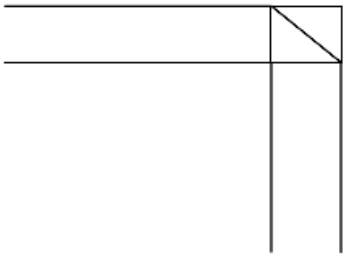
شكل رقم (٤-٢٥) يوضح بناء خط شريطي دقيق.

نمط انتشار الموجةِ في الخط الشريطي الدقيق microstrip لَيسَ بصرامة Transverse Electro-Magnetic Mode TEM، لكنه شبهَ TEM. هذا بسبب التوقفِ discontinuity في العازلِ وغيابِ تماثل مستوى الأرضي مَع موصل الخط.

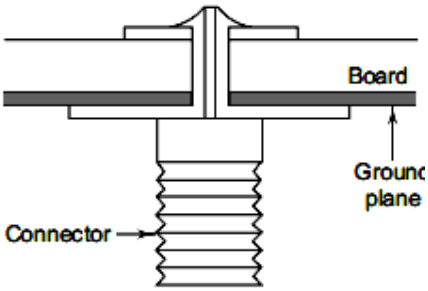
الأبعادَ المهمةَ للخَطِّ الشريطي الدقيق microstrip هى W (عرض المسارِ الأعلى)، H (سمك اللوح المدعوم) وG (عرض المستوى الأرضي). مثالياً يَجِبُ أَنْ تكُونَ G لانهائية، لكن عملياً، ١٠ W يُمكنُ أَنْ تكُونَ مقبولة. للممناعات الكهربائيةِ المنخفضةِ جداً، وبمعنى آخر: أقل مِنْ ٣٠ أوم، فإنه يُمْكِنُ أَنْ ينخفض للقيمة ٥ W.

بالرغم من أن الخطوطِ المستقيمةِ مفضّلة عندما تصبح خط شريطي دقيق microstrip خَطّ، فإنه من الضروريُ في أغلب الأحيان إسْتِعْمال الإنحناءات bends . للتردداتِ ذات القيمة حتى عِدّة جيجاهيرتز ، فإن النسب VSWRs المنخفضة تكون مُنجَزة إذا كان هناك إنحناءاتِ هامّةِ مُشَذَّبة عند الزاوية ٤٥ ° كما هو معروض في الشكل رقمِ (٤-٢٦). المقابس المحورية إلى الألواحِ تكون

أفضل إدخال خلال المستوى الأرضي بدلاً مِنْ حواف اللوح، كما هو موضح في الشكل رقمِ (٤-٢٧).



شكل رقم (٤-٢٦) يوضح كيفية الحفاظ على نسبة VSWR جيدة، بتشذيب الخط الشريطي عند الاركان بزاوية ٤٥ درجة.

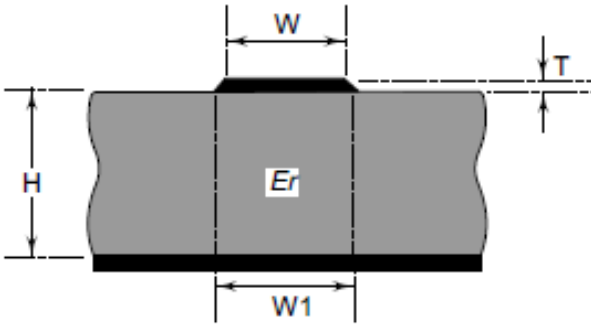


شكل رقم (٤-٢٧) يوضح استخدام المقابس المحورية المدخلة خلال مستوى الارضي على لوح الدائرة المطبوعة.

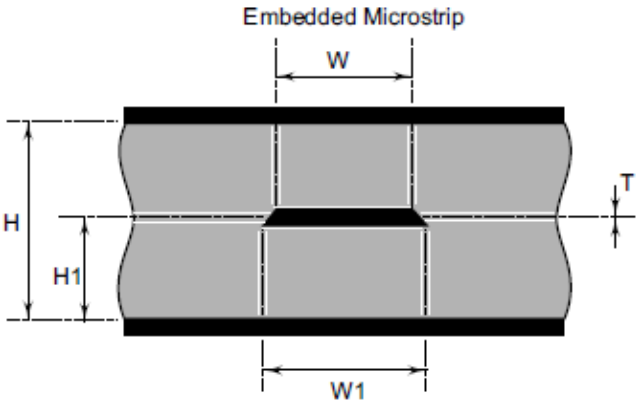
ما يلي هو الترتيباتُ المُخْتَلِفةُ للشريط الدقيق microstrip في لوح الدائرة المطبوعة (Polar Instruments, 2003b):

١. الشريط الدقيق السطحي Surface Microstrip: هذا الترتيبُ الأسهلُ ويوضح في الشكل رقمِ (٤-٢٨). وهو يتكون من خط اشارة ، بالقمةِ والجوانبِ عرّضة للتَهْوِية، على سطحِ اللوح لثابت العازل Er والاسناد لمستوى القدرة الكهربائية أو الارضي . الشريط الدقيق microstrip السطحي يُمْكِنُ أَنْ يَكُونُ منفذاً بالنقش أو الحفر لأحد الاسطحِ لمادة لوح الدائرة المطبوعة ثنائية الجانب.

٢. الشريط الدقيق المدفون Embedded Microstrip: وهو مَعروف كذلك buried microstrip هو مشابه microstrip surface. على أية حال، خَطّ الاشارة يكون مدفون، الشكل رقم (٤-٢٩) في عازل وواقع عند مسافةً معروفة H1 مِنْ الاسناد.

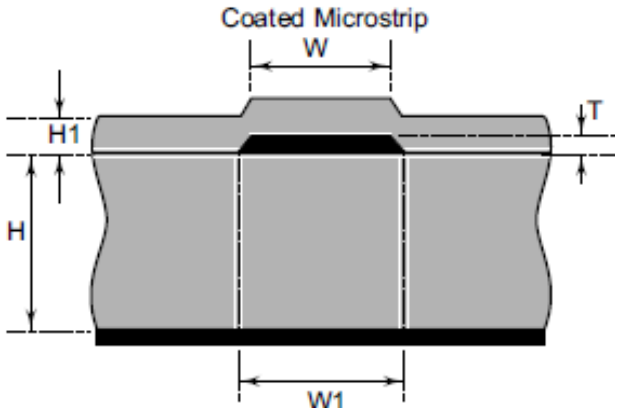


شكل رقم (٤-٢٨) يوضح بناء الشريط الدقيق السطحي.



شكل رقم (٤-٢٩) يوضح الشريط الدقيق المدفون مع المسارات التفاضلية ذات الحافة المربوطة.

٣. الشريط الدقيق المغطى Coated Microstrip : هذا الشكل رقم (٤-٣٠) مشابهة للنسخةِ السطحيّةِ. على أية حال، خَطّ الاشارة مُغَطًّى مِن قِبل قناع اللحامِ. التغطية بقناعِ اللحامِ يُمْكِنُ أَنْ تخفض الممانعة الكهربائيةَ بحدود بضع وحدات من الاوم تعتمدُ على نوعِ وسُمك قناعِ اللحامَ.



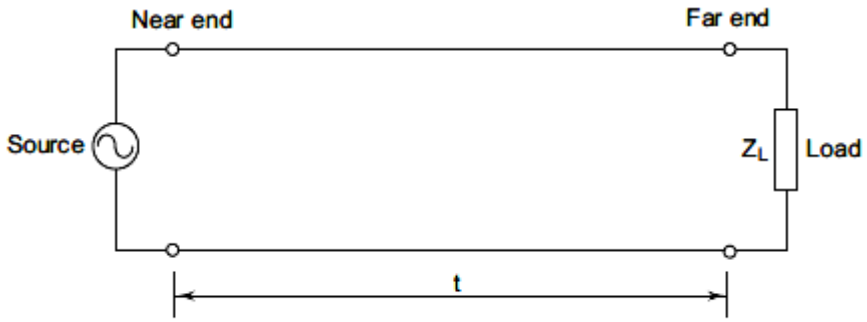
شكل رقم (٤-٣٠) يوضح الشريط الدقيق المغطى.

٤. المعادلات للممانعة الكهربائيةِ المميزةِ للشريط الدقيق يَتطلّبُ رياضيات معقّدة، عادة إستعمال طرق حْلُّ المجال متضمناً تحليل عنصرِ الحَدِّ boundary element analysis .

٤-٥-٣ خطوط الإرسالِ كعناصر سلبية

Transmission Lines as Passive Components:

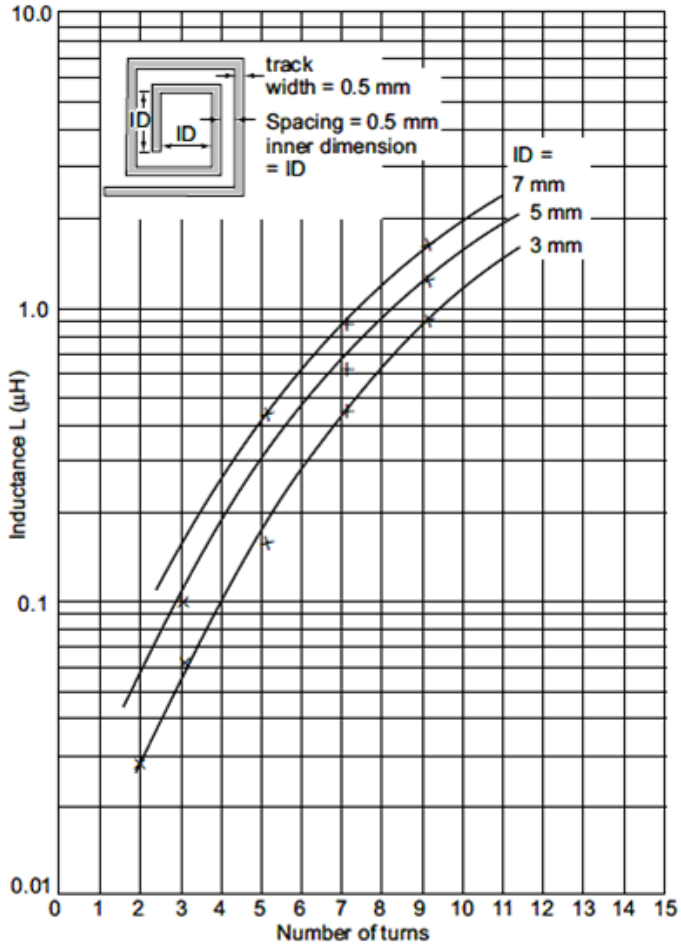
العديد مِنْ الدوائر الإلكترونية مثل المكبراتِ المُنَغَّمةِ tuned amplifiers، والمرشحات، و.. الخ. ، التي تشتغل عند الترددات المايكروويفِ، تجعل إستعمالْ العناصر الغير نشطة (السلبيةِ) مثل الملفات inductors والمكثّفات capacitors. على أية حال، قِيَمها صغيرة جداً لكي تبْنَى بالوسائلِ التقليديةِ مثل الحث الناتج من ملفات الاسلاك والمكثّفاتِ ذات الالواح المتوازيةِ. لَيسَ فقط هو المقاس الطبيعيُ الصغير جداً لكن التأثيراتَ الطُفيليةَ قَدْ تسبب اضطراب لوظيفةَ الدائرةَ. في مثل هذه الحالاتِ، الطريقة الوحيدة هو أَنْ تَستعملَ خطوطَ الإرسالِ بالطولِ المناسبِ مع إنهاءِ مناسبِ كالملفات inductors والمكثّفات. الشكل رقم (٤-٣١) يوضح ترتيب مثالي لخَطِّ الإرسالِ يقوم بتوصيل مصدر إلى حمل.



شكل رقم (٤-٣١) يوضح خط تراسلي يقوم بتوصيل مصدر إلى الحمل.

بإخْتيارَ الطول الصحيح لخَطّ التراسل، سواء محاثّة كهربائية أَو مكثّف لقيمة مطلوبة عند أى تردد يُمْكِنُ أَنْ يَكُونُ مُدرَكاً أو محققاً. قَدْ يُلاحظُ أنه لطول مُعطى مِنْ خَطِّ الإرسالِ، قيمة المحاثّة الكهربائيةِ أَو السعة هى دالة في التردد. لذا، فإن مجموعة دوائر المايكروويفِ يُمْكِنُ أَنْ تُدرَكَ على لوح الدائرة المطبوعة بإمتِلاك عناصرِ خَطِّ الإرسالِ بالطولِ والإنهاءِ المناسبِين. ونتيجة للتطور الحادث في تكنولوجيا لوح الدائرة المطبوعة وتوفر موادِ المايكروويفِ العازلةِ، من المحتملُ الآن صِناعَة خطوطِ الإرسالِ في مستوى مفرد، لكُلّ الأغراض العملية، يسيطرُ عرض الموصل على خاصية خَطِّ الإرسالَ. هذا يسهّلَ تشكيلَ دوائرِ المايكروويفِ المعقّدةِ بالتوصيل البيني للعناصر إلى عناصرِ خَطِّ الإرسالَ.

كما وُضّحَ في وقت سابق، خطوط الإرسال يُمْكِنُ أَنْ تُستَعملَ كعناصر سلبية (غير نشطة). الخَطّ الذي يكون قصيرُ في الطولِ بالمقارنة مع طولَ موجة الإشارةِ المرسلَة يُمْكِنُ أَنْ يُقرّبَ كعنصر غير نشط مكوّنَ lumped passive element مثل الملف أَو مكثّف فردي. أي خط رفيع يَعطي محاثّة كهربائيةَ وأى خط سميك يعطي سعة. من الهندسات geometries المحتملة والمختلفة، نوع الحلزوني المستوي flat spiral type هو الأكثر شيوعاً لأنه يعطي المحاثّة الكهربائية الأعظم لكلّ وحدةِ مساحة. مَع اللوح المطبوع ثنائي الجانب، المحاثّة الكهربائية لكلّ وحدةِ مساحة يُمْكِنُ أَنْ تُزادَ بوَضْع لفات على كلا الجانبينِ للوحِ. الشكل رقم (٤-٣٢) يَعطي قِيَمَ المحاثّة الكهربائيةَ وشكل لملفات مدى الحلزون المستوي المطبوعِة printed flat spiral inductors . حيث أنَّ المطلوب ملف ذو معامل جودة Q منخفض، الشكل المعروض في الشكل رقمِ (٤-٣٣) يُمْكِنُ أَنْ يَكُونُ مستعملاً. قيمة محاثّته الكهربائية للمساحة المُعطاة تقريباً عُشر الملف الحلزون spiral inductor.



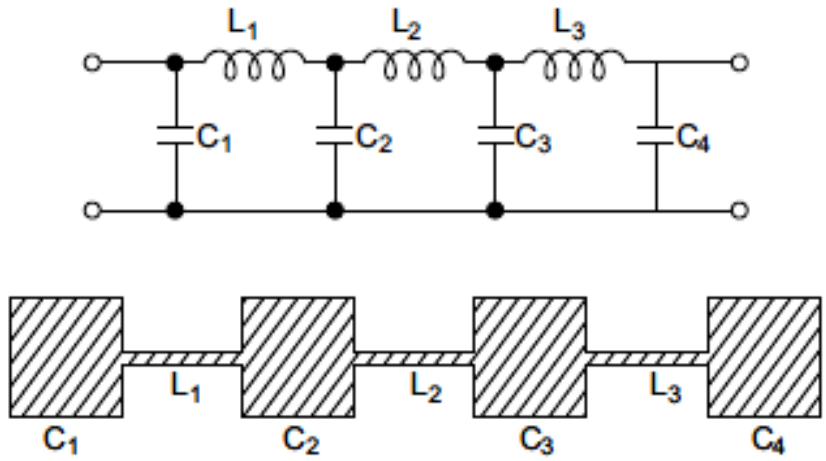
شكل رقم (٤-٣٢) يوضح قيم المحاثة وشكل ملفات الحلزون المستوي المطبوع لخط التراسل مع توصيل المصدر إلى الحمل.



شكل رقم (٤-٣٣) يوضح ملف متعرج أو ملتوي لدائرة مطبوعة

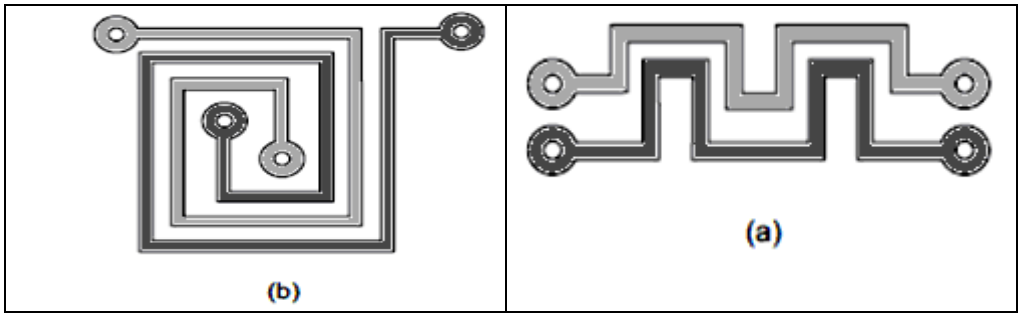
هذه العناصر يمكن أن تُستَعملَ لعمل المرشحاتِ، ومحولات الممانعة الكهربائيةِ، والعناصر المتوافقة matching devices ، .. الخ. ، على سبيل المثال، الشكل رقم (٤-٣٤) يوضح مرشِح منخفضِ

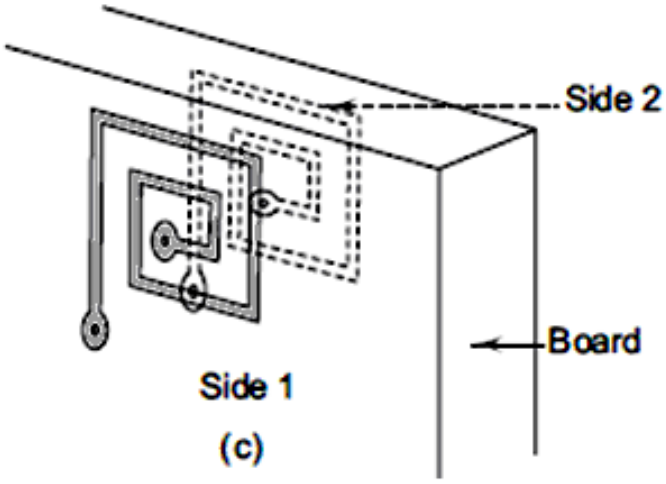
الامرار low pass filter ، الذي يُمْكِنُ أَنْ يُبْنَى بإستعمال قِطَاعات من خَطِّ الإرسالِ مثل الملف والمكثّف. هذه الدائرةِ يُمْكِنُ أَنْ تنتجَ مرشِحَ منخفضِ الامرار بتردد قطع cut-off frequency في مدى بضع ميجاهيرتز megahertz.



شكل رقم (٤-٣٤) يوضح دائرة مرشح إمرار منخفض وتكوينه الشريطي الدقيق.

المحولات يُمْكِنُ أيضاً أَنْ تُدرَكَ في تشكيلِ الدائرةِ المطبوعِ. الشكل رقم (٤-٣٥) يوضح عِدّة ترتيبات مستعملة لعمل المحولاتِ. قَدْ يُلاحظُ بأنّ الإزدواج على محوّلِ التعرجَmeander transformer يكون منخفضُ، أقل نموذجياً مِنْ ١٠ بالمائة بينما يُمْكِنُه أَنْ يَقتربَ مِنْ ٩٠ بالمائة مَع الملفات الحلزونية spiral inductors.





شكل رقم (٤-٣٥) يوضح أمثلة من محولات الدائرة المطبوعة: (أ) محول متعرج، (ب) محول حلزون على أحد جوانب اللوح، (ج) محول حلزون باستخدم جانبي اللوح

٤-٥-٤ إعتبارات التصميم العامة لدوائرِ المايكروويفِ

General Design Considerations for Microwave Circuits:

إنّ متطلبَ الدقةِ العاليةِ لعرضِ الخَطِّ في تطبيقاتِ المايكروويفِ يعتبر أعلى بكثيرُ؛ ما عدا ذلك فإنه يُؤثِّرُ على النسبة VSWR (voltage standing wave ratio) بجدية. على سبيل المثال، إذا أعتبرنا أن ممانعة المصدر الداخلية تساوي ٧٥ أوم وأنه متصل بحمل مقدار ممانعته ٧٥ أوم خلال خَطّ ممانعته المميزة بالضبط ٧٥ أوم. في مثل هذه الحالة، لا إنعكاسَ يَحْدثُ والنسبة VSWR تصبح بالضبط واحد.

إعتبرْ الآن خَطّ له ممانعة مميزة مقدارها ٨٠ أوم، مُسَبَّبة نتيجة عرضِ خَطٍّ مخفّضِ وموصل إلى نفس الحملِ والمصدرِ. من ثمّ فإن معامل الإنعكاسَ هو $\rho = (80 - 75) / (80 + 75) =$ 0.032 ولذا فإن النسبة VSWR تساوي $(1+\rho)/(1+\rho) = 1.032/0.968 = 1.066$. هذا يوضح أن النسبة VSWR تصبحُ أكثر سوءاً إذا كان عرضِ الخَطَّ ليس بالضبط ما تم حُسِابه.

للحُصُول على عرضِ الخَطِّ ذو دقةِ عالية، فإن العمل الفني (خرج الحاسب الآلي للشكل العملي)، يَجِبُ أَنْ ينتج الشكل أكبر من الاصلي بمقدار من ٤ إلى ١٦ مرةِ بينما يُصمّمُ لوح الدائرة المطبوعة المايكروويفَ.

الموجة التي تنتشر على طول خط التراسل الشريطِي strip والشريطي الدقيق microstrip يحدث لها اضمحلال نتيجة إلى: (i) فقد العازل (ii) الفقد في موصل الخَطِّ، و(iii) فقد الإشعاعِ (بشكل رئيسي في الخَطّ الشريطي الدقيق microstrip). لذا، يجب اختيار مواد لوح الدائرة المطبوعة لتطبيقاتِ المايكروويف لِكي تعطي أدنى فقد.

هذا مُنجَزُ بإخْتيارَ المادّة بثابت عزل عالي حيث يُخفّضُ الإشعاع وفقد العازل ويُؤدّي إلى تخفيضِ مقاس دائرةِ المايكروويفَ، هكذا يُمدّدُ فائدةَ ألواح الدوائر المطبوعة للمايكروويف إلى الترددات الأعلى. المواد العازلة المستعملة عند الترددات العالية، متضمنة ترددات المايكروويفِ هى:

Rexolite 1422 polystyrene،
Silicon resin with ceramic powder filling
.Teflon fibre-glass

٤-٦ قواعد التصميمُ لدوائر تغذية القدرة الكهربائيةِ

Design Rules for Power supply Circuits:

إذا كانت الدائرةِ مُمَيَّزَةُ بمتطلباتِ القدرة الكهربائيةِ المنخفضةِ وإشارات بأزمنة ارتفاع بطيئة ومستويات إشارة كبيرة، فإن نظام توزيع القدرة قد لا يكون حرجاً جداً. لكن العديد مِنْ هذه العواملِ يتغير، متطلبات تكييفِ القدرة يزِيدُ، والطرق الفعّالة لتَوزيع القدرة حول لوح الدائرة المطبوعة ومعالجة عناصر وموصلات تبديد الحرارة الكبيرة تحتاج جهود تصميم بعناية.

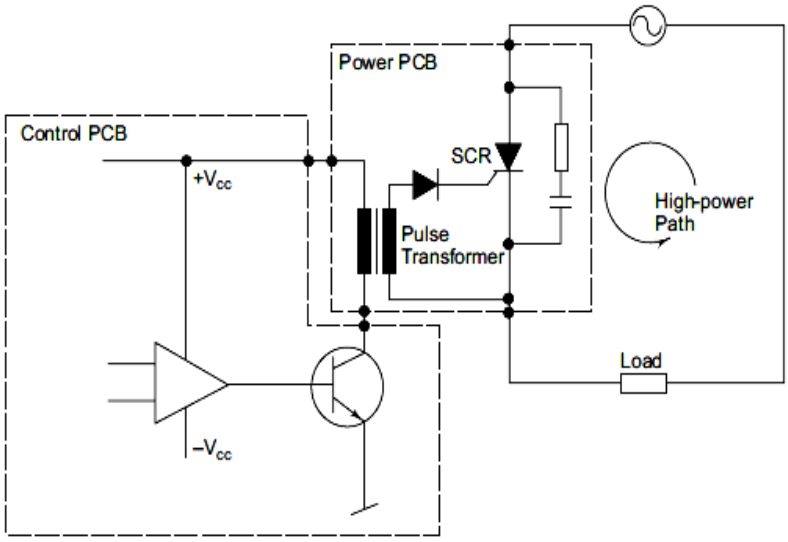
إنّ تصميمَ دوائر تغذية القدرة الكهربائيةِ يعتبر أكثرُ حراجاً مِنْ الدوائر الإلكترونية الشائعة. هذا لأن القدرة العاليةَ نِسْبياً تَتدفّقُ على ألواح الدوائر المطبوعة هذه وحَدَوث فشلِ أو انهيار تحت شروط

التشغيل على مثل هذه الألواحِ يُمْكِنُ أَنْ يؤدّي بسهولة إلى عواقب خطيرةٍ أكثر بكثيرٍ، متَضْمنة الخطر للمستخدم. هناك عِدّة عوامل مَنْ الضَّرُوري أَنْ تؤخذ في الاعتبار عند تَصميم ألواح الدوائر المطبوعة المستخدمة في الدوائر الالكترونية للقدرة power electronic circuit. هذه الدوائر ستناقش فيما بعد.

٤-٦-١ فَصْل دوائرِ القدرة الكهربائيةِ في الأجزاء العالية والمنخفضة القدرة

Separating Power Circuits in High and Low Power Parts:

في دوائر إلكترونيات القدرة، الدائرة التي تَحْملُ تيار أقل مِنْ ٣ أمبيرٍ يُمْكِنُ أَنْ تعتَبرَ كدائرة قدرة منخفضة low power circuit. الدوائر التي تَحْملُ تيار أكثر مِنْ ٣ أمبيراتٍ سَتُعتَبرُ كدوائر عالية القدرة high power circuits. عموماً، دائرة تحكم مستوى قدرة منخفضة إلى حدٍّ كبير تسيطرُ على عنصر إلكتروني عالي القدرة نشيط active high power electronic component. على سبيل المثال، من الشائع أن دائرة TTL تَسْحبُ أقل مِنْ واحد أمبيرٍ عند جهد مقداره فقط ٥ فولت قَدْ تُسيطرُ على ثيراستور thyristor خلال تدفقِ تيار قَدْ يَكُون مستوى عالي بمقدار ٥٠ أمبير. قَدْ يُخطّطُ الفرد عادة أَنْ يَكُونَ لديه كل من تكييف القدرة power conditioning ودائرة التحكم control circuit فيه على لوح دائرة مطبوعة واحدة. على أية حال، يوضح الشكل (٤-٣٦)، عَلى نَحوٍ مُبَسَّط، دائرة تحكم بعنصر موحد التحكم السيليكونيSCR control circuit . ربما نلاحظ هنا حتى محوّل النبضَ pulse transformer، الذي يُزوّدُ العزل، يكون مثبت على جزء القدرة العالية من لوح الدائرة المطبوعة ولَيسَ لوح تحكم الدائرة المطبوعة control PCB، مثل ملفه الثانوي يَقُودُ دائرة SCR العاليةَ القدرة. إذا قمنا بتصمّيمُ كل من الدوائر الكهربائية المنخفضة والعالية القدرة على لوح دائرة مطبوعة واحد، فإن هذا سَيُؤدّي إلى ازدواج سعوي capacitive وإزدواج حثّي بين دوائرِ القدرة ودوائرِ التحكم، مؤدّياً إلى تَعْطيل الأجهزة. لذا، الدوائر الكهربائية المنخفضة والعالية القدرة يَجِبُ أَنْ تُصمّمَ على ألواح دوائر مطبوعة منفصلة.



شكل رقم (٤-٣٦) يوضح تقسيم الدائرة إلى جزء منخفض القدرة وجزء عالي القدرة.

٤-٦-٢ سُمك المادة الأساسية

Base Material Thickness:

تبدد الأجهزة أو العناصر الإلكترونية كمية معينة من الحرارةِ التي تَحتاجُ عادة لمسربات حرارية heat sinks مناسبة. إذا كان المسرب الحراري مثبت مباشرة علي لوح الدائرة المطبوعة، فإن كل اللوح بالكامل سَيسْخنُ إلى نفس درجة الحرارة. لذا، فإن مادّة القاعدةَ المختارةَ يَجِبُ أَنْ تُقاومَ التشغيل المستمر للأجهزة. الإختيار الشائع جداً هو الالواح المدعومة المصنعة من الابوكسي الزجاجي glass epoxy laminates. أغلب الالواح المدعومة المستعملةً لَهُا سُمك مقداره ١.٦ مليمترِ؛ على أية حال، ٢.٤ مليمتر و٣.٢ مليمتر سَيَلبّي متطلباتِ الخاصية الميكانيكيةِ لتثبيت العناصر الأثقلِ مثل محولاتِ النبضِ pulse transformers، ومسربات الحرارةِ heat sinks، والخوانق chokes ،.. الخ. مسربات الحرارةِ متوفرة الآن كمعاجين للطِباعَة.

٤-٦-٣ سُمك ورقِ النحاس الرقيق

Copper Foil Thickness:

قشرة النحاس المطبقة بسمك مقداره ٣٥ ميكرون يعتبر سُمك قياسي وهو مفضّلُ للدوائرِ المنخفضةِ القدرة. بينما للدوائر العالية القدرة، عادة يكون سمك القشرة النحاسية المطبقة هو ٧٠ ميكرون من

ورق النحاس السميك المستعمل عموماً. للحالاتِ الخاصّـةِ، حتى السمك ١٠٥ ميكرون مِنْ ورقِ النحاس الرقيق قَدْ يُتطلّبُ.

٤-٦-٤ عرض الموصل

Conductor Width:

في تصميمِ ألواح الدوائر المطبوعة المستخدمة في الدوائر الالكترونية للقدرة، النحاس المتوفر على سطحِ اللوح يَجِبُ أَنْ يَكُونَ بالكامل إستعمال للتياراتِ الأكبرِ. الإجراءَ هو أَنْ يُقرّرَ أولاً المباعدة المطلوبةَ بين الموصلات وبعد ذلك توزّع المساحة النحاسيةَ الباقيةَ إلى الموصلات. الموصلات التي تحْمل تيار كبير يَجِبُ أَنْ تصمّمَ بعرضِ موصل كبيرِ. وهو ضروريُ أيضاً لتَحليل الدائرةِ لتحديد حالاتَ فشل الدائرةِ الأكثر إحتمالاً والموصلات التي من المحتمل أن تؤثّر على لوح الدائرة المطبوعة. أي مراقبة يجب أنْ تُنفّذَ للتَحْقيق بأنّها يُمْكِنُ أَنْ تحْمل تيارَ العطل. إذا ربما لم يزاد عرض الموصل بقدر الإمكان.

٤-٦-٥ الاسقاط الأومي للجهد

Resistive Drop of Voltage:

في الدوائر الالكترونية لتغذية القدرة، هناك تيارات عالية تَتدفّقُ خلال موصلات لوح الدائرة المطبوعة يُمْكِنُ أَنْ تُسبّبَ اسقاط جهدي قابل للإعتبار. حيثما كان محتمل، تياراتِ الحملِ هذه الثقيلةِ يَجِبُ أَنْ نتفاداها على لوح الدائرة المطبوعة. في حالة كون تجنبه مستحيل لإمرار تيارِ الحملَ جانبياً bypass ويُحمل خلال لوح الدائرة المطبوعة، فإن الموصل يَجِبُ أَنْ يُصمّمَ بحيث لا يسبب الاسقاط الجهدي أيّ تأثير على القدرةِ الوظيفيةِ للدائرةِ.

٤-٦-٦ الإعتبارات الحرارية

Thermal Considerations:

تأتي الحرارةُ المُتولّدةً على لوح الدائرة المطبوعة مِنْ مصدرين: اللوح نفسه والعناصر المثبتة عليه. حيث كُلّ نظام (والعناصر) لَهُ أو لها درجة حرارة قصوى للتشغيل، يَجِبُ أَنْ تَكُونَ هناك عناية لضمان أَنَّ درجةِ الحرارة هذه لا تُتجاوزْ حرارة التشغيل. إستعمال مسربات الحرارةِ، أو تبريد مدفوع

الهواء، أوتنسيب العناصر بالإضافة إلى تثبيت اللوح في الوضع الأفقي أَو العمودي سَيُؤثّرُ على درجة حرارة اللوح والعناصر المثبتة عليه.

بإعتِبار الحَدّ الأعلى المَسْمُوح به لإرتفاعِ درجةِ الحرارة، المتسبب بواسطة المسارِ النحاسي، الجدول رقم (٤-١) يَعطي أدنى عرض مسارِ جائز حيث يُمْكِنُ أَنْ يُستَعملَ لكي يَضْمنَ إرتفاعَ درجةِ حرارة أقل مِنْ ١٠ ، ٢٠ و ٤٠ سنتيجراد للتياراتِ المستمرة dc المُخْتَلِفةِ. قَدْ يُتذكّرُ بأنّ عرضَ مسارِ مقداره واحد مليمتر لَهُ معدل تيار أمان لأكثر بعض الشيء مِنْ ٢ أمبير وهذا سوف لَنْ يُسبّبَ مزيد من الاسقاط الجهدي في الموصلات.

جدول رقم (٤-١) يوضح أدنى عرض مسار نحاسي (بالمليمتر) لإرتفاع درجة الحرارة لأقل من ١٠، و٢٠، و٤٠ سنتيجراد لتيارات مستمرة مختلفة.

جدول رقم (٤-١)

DC Current Amps	Temperature Rise °C (35µm copper-foil)		
	10°C	20°C	40°C
0.5	0.15 mm	0.10 mm	0.06 mm
1.0	0.40 mm	0.25 mm	0.15 mm
2.0	0.80 mm	0.50 mm	0.30 mm
5.0	3.25 mm	1.75 mm	1.00 mm
10.0	8.00 mm	4.70 mm	3.00 mm

هذه القِيَمِ تحدد فقط الزيادةَ في درجةِ حرارة اللوح نتيجة للتياراتِ الساكنةِ. إلى هذا يجب أنْ يُضافَ أيّ تيارات كبيرة متردد alternating أو مستمرة direct أو متقطعة switched تُسبّبُ تبديد حرارةَ عنصر هامّةَ. لحسن الحظ، هناك أدواتُ EDA تسمح للتحليلِ الحراري لكي يُفتَرضَ بسرعة وبدقّة بإستعمال التناظرِ بين تدفقِ التيار وتدفقِ الحرارةَ. أيّ برنامج محاكاة كهربائي تماثلي (مثلSPICE) يَجِبُ أَنْ يَكُونَ قادر على نمذجة اعتبارات الحرارة الساكنة والديناميكية .

٤-٧ بناء التوصيل البيني عالي الكثافةِ

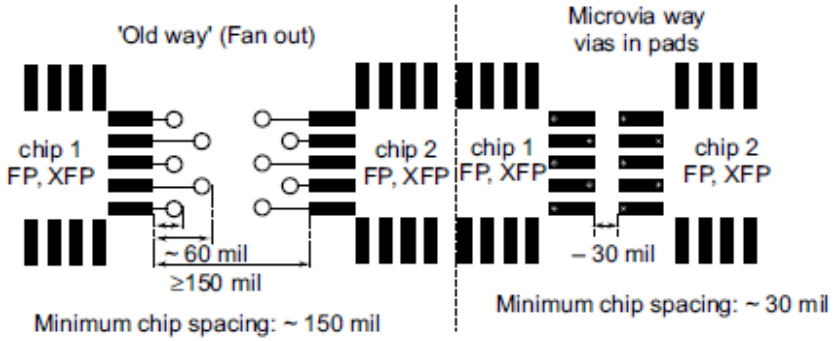
High-density Interconnection Structures:

الإستعمال المتزايد لمصفوفة شبكةِ الكرةِ ذات الخطوة الدقيقة fine pitch ball grid array (BGA) ، وتغليف مِقاسِ الرقاقةِ chip scale packaging (CSP) وعوامل تكنولوجية مستنبطة

أخرى تعني أن أساليب التصميمَ الجديدَ وأساليب الصناعةِ يجب أنْ تهيأ لألواح الدوائر المطبوعة لتلائم أو تتكيف مع عناصر ذات خطوات pitches محكمة بشدة وهندسات geometries صغيرة. إضافةً إلى سرعة توقيت كبيرة جداً وعرض نطاقات الاشارة العاليةِ يستلزم ترتيباتِ للوح تَتغلّبُ على التأثيرات السلبية الممارسة بواسطة التردد الراديوي(RF) radio frequency والتداخل الكهرومغناطيسية (EMI) electromagnetic interferences على أداء المُنتَج. بالإضافة، تُحدّدُ أهدافَ التكلفةِ التقييديةِ جداً إستعمالِ الطرق التقليديةِ لصِناعَة انظمة التوصيل البيني الأسرعِ والأخفِ والأكثف والأصغرِ. إستعمال ألواح الدوائر المطبوعة دَامْجة توصيلات الدائرةِ البينية للعبور الدقيق microvia يُمثّلَ طريقة فعّالة لمخاطبة حلول هذه المشاكل (Brist وآخر؛ ١٩٩٧).

نقاط العبور الدقيقة Microvias هى عبارة عن نقاط عبور بقطر أقل مِنْ أَو يساوي ٦ mils (١٥٠ميكرون). من أكثر إستعمالاتها المثاليةِ اليوم هى في نقاط العبور المستورة blind والمدفونة buried وتستَعملُ لتكوين التوصيلات البينية خلال طبقةِ عازلةِ واحدة ضمن لوح الدائرة المطبوعة. تستعمل عموماً نقاط العبور الدقيقة Microvias في انشاءات نقطة العبور المستورة حيث الطبقاتِ الخارجيةِ للوح الدائرة المطبوعة المتعددة الطبقات يتم توصيلها إلى طبقةِ الاشارة المجاورةِ التالية. مستعمل في كُلّ أشكالِ المُنتَجاتِ الإلكترونيةِ، يَسْمح هذا للصناعةِ المربحةِ عملياً للتجميعات العالية الكثافةِ. اختارت IPC تركيبات التوصيل البيني عالي الكثافة High-Density Interconnection Structures (HDIS) كمصطلح للإشارة إلى كُلّ تكنولوجيات نقاط العبور الدقيقة microvia المُخْتَلِفة (Holden, 2003a).

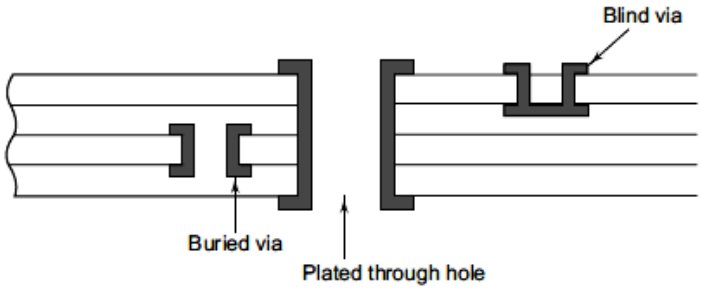
بإستعمال نقاط العبور الدقيقة microvias، فإن العناصر يُمْكِنُ أَنْ تُوْضَعَ أقرب كثيراً لبعضها البعض وبذلك نتحرّرُ من المساحة القابلة لتوجيه المسار. ويمكن وضع نقاط العبور الدقيقة Microvias مباشرة في إنزال الوسائد، التخلص من الحاجةَ للخروج المروحي fanout (عدد من المداخل يغذي بوابة واحدة للخرج) للمسارات القصيرة التي تصلُ الوسائد للفتحات. زيادة كثافةُ عناصر اللوح يُمْكِنُ أَنْ يجعل أحياناً من الممكن وَضْع كُلّ العناصر على أحد جوانب اللوح، هكذا يقلل من تكلفة تجميع العناصر على اللوح المطبوع ثنائي الجانب. الشكل رقم (٤-٣٧) يوضح خفض مقاسِ لوح الدائرةِ المطبوعةِ خلال الطريقة التقليدية وطريقِة نقاط العبور الدقيقة microvia.



شكل رقم (٤-٣٧) يوضح استخدام نقاط العبور الدقيقة، يمكن العناصر من وضعها بالقرب الشديد لبعضها البعض متحرراً من مساحة إمكانية دوران المسار.

كثافة لوح الدائرة المطبوعة يُمكنُ أَنْ يقاس بقدرةِ توزيع أسلاكها التي تقاس بالبوصاتِ مِنْ توزيع الأسلاك لكلّ بوصةِ مربّعةِ مِنْ البنية التحتية. قدرة أو سعة توزيع الأسلاك الكليّةِ للوح تَعتمدُ على عرضِ القناةَ وعددَ المساراتِ لكلّ قناةِ. عرض القناةِ هى المسافةُ بين نقطة عبور أو وسائد عنصر مجاورةِ، والمسارات لكلّ قناةِ منسوبة إلى عددِ الآثارِ التي يُمْكِنُ أَنْ تكون موجهة على أحد عرض القناة. عدد المساراتِ لكلّ قناةِ يَعتمدُ، بالطبع، على الأثرِ وأبعاد المباعدة المختلفة، ومقاسات الوسادةَ. التخفيض في مقاس وسادة نقطة العبور مع تصميم نقطة عبور دقيقة microvia يَجْعلُها من الممكن إنْجاز كثافةِ توزيع الأسلاك أعلى بكثيرِ.

نقاط العبور المستورة والمدفونة شكل رقم (٤-٣٨) هى مساعدة أخرى لتَصغير مقاس اللوح وعدد الطبقات. فهى تقوم بتوصيل فقط تلك الطبقاتِ التي تَتطلّبُ إتّصالاً. بِالتعريف، نقطة العبور المستورة blind via هى عبارة عن الفتحة المَطْلية نحاس، مثل نقطة العبور النظامية، ماعدا أنّها تقوم بتوصيل فقط طبقةَ خارجيةَ واحدة للوح الدائرة المطبوعة مع طبقة داخليةً أو أكثر، لكنها لا تذْهبُ بطول سمك اللوح. بينما نقطة العبور المدفونة buried via عبارة عن فتحة مطَلية نحاسُ تَرْبطُ طبقة واحدة أَو أكثر من الطبقاتَ الداخليةً، لكنها لا تُصلُ إلى الطبقة الخارجيةِ، ومن ثم تكون الفتحة بشكل كامل داخليةُ أَو مدفونةُ خلال اللوح. اليوم تتطلب أغلفة شبه الموصل أكثر توصيلاً، وتعطي نقاط العبور المستورة والمدفونة وسائل مبدعة لتركيب تلك التوصيلات إلى أقل فراغ.



شكل رقم (٤-٣٨) يوضح نقاط العبور المستورة والمدفونة حيث يمكنها تثبيت المزيد من التوصيلات البينية في أقل مساحة.

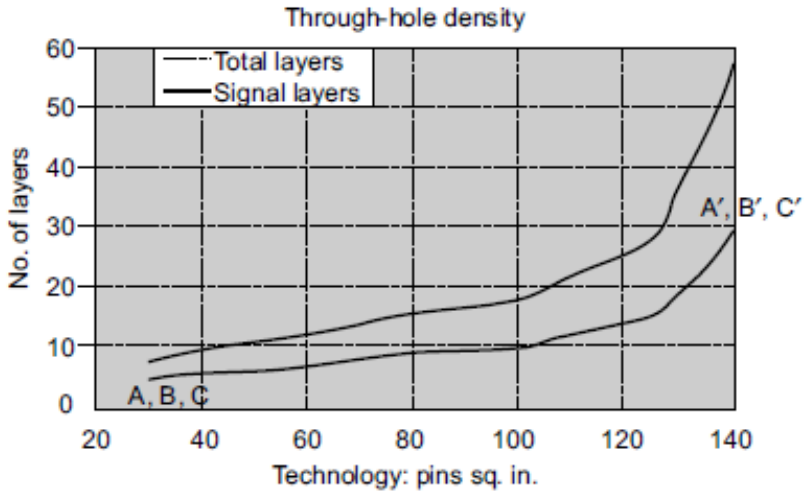
٤-٧-١ دوافع التوصيل البيني عالي الكثافة

Drivers for HDI:

٤-٧-١-١ الكثافة Density:

تعقيد شبهِ الموصل والزيادة في الأبوابِ المنطقية الكليّةِ إستوجبتْ المزيد من الدبابيسَ للدوائر المتكاملةِ بالإضافة إلى خطوة الدبّوسِ الأدقِ. يعتبر التغليف BGA ذو الكثافة العالية (أكثر من ١٠٠٠ دبوس) بخطوة تساوي ١.٠ مليمتر لَيس غير عادي، ولا ٢٩٦ دبّوسُ بخطوة تساوي ٠.٦٥ مليمتر. بينما تَستمرُّ العناصر المنفصلة (التقليدية) إلى أَنْ تُصبحَ أصغر وأغلفة الدائرة المتكاملة تُصبحُ BGAs على نحو متزايد، فإن العدد الكليّ للتوصيلات على كلا جانبي اللوح يزداد. عندما يكون متوسط التوصيل لكلّ بوصةِ مربّعةِ يبْدأُ بتَجَاوُز ١٠٠ دبّوسَ (توصيلات) لكلّ بوصةِ مربّعةِ، فإنه سيكون هناك حيز أقل لرَبْط هذه العناصر. الفراغ المحتل بواسطة نمط هبوط land pattern العناصر سطحية التثبيت SMT، ونقطة عبور الفتحة الخلالية والمسارات التي توصلُها، يَبْدأُ بالتَجَاوُز عن ما يُمْكِنُك وضعَه في البوصة المربّعة المفردة. ما بعد حوالي ١٢٠ توصيلة لكلّ بوصةِ مربّعةِ، الطبقات الإضافية يَجِبُ أَنْ تُضافَ لإكْمال التوصيل البيني. يَبْدأُ إحصاءُ الطبقةَ بالإرتِفاع تصاعدياً (أُسياً) كما هو معروض في الشكل رقمِ (٤-٣٩).

أزمنة الإرتفاعُ الأسرعُ بالإضافة إلى الحاجةِ لسلامةِ الاشارة (SI) تَستلزمُ عددَ متزايدَ من دبابيس القدرة والأرضي. ولذلك، هذا يَخْلقُ الحاجةَ للطبقاتِ في الألواحِ متعددةِ الطبقات والحاجة للتوصيلات عالية الكثافة HDI مَع نقاط العبور الدقيقة microvias ، (Holden, 2003a).



شكل رقم (٤-٣٩) يوضح العلاقة بين عدد الدبابيس وعدد الطبقات. كلما ذهب عدد الدبابيس في البوصة المربعة لأعلى من ١٣٠، فإن العدد الكلي للطبقات ينمو أسياً.

٤-٧-١-٢ عناصر الخطوة الدقيقة

Fine Pitch Devices:

العناصر ذات الخطوة الدقيقة ١.٠ مليمترُ تعتبر صفة للتوصيل عالي الكثافة HDI، لكن استخدام العناصر ذات الخطوة ٠.٨ مليمترِ(Holden, 2003b) تعتبر البداية الحقيقية للتوصيلات عالية الكثافة HDI والتي بدأت تعطي مميزاتً. توفّرُ نقاط العبور المستورة حيز على الطبقاتِ الداخلِية وتصغر نقاط هبوط العبور via lands بجانب جعل نقطة عبور في نقاط هبوط ممكنة via-in-lands possible . النموذج المثالي لهذه العناصر هى معالج الاشارة الرقمية Digital Signal Processor (DSP) ذو الـ٢٤٠ الدبّوسُ، وخطوة مقدارها ٠.٦٥ مليمتر.

٤-٧-١-٣ مصفوفات مساحة الدخل/الخرج العالية

High I/O Area Arrays:

من العناصر الجديدةَ الأخرى التي اصبحت واسعة الإنتشار أكثر هى عناصر بعدد دبابيس عالية جداً لحوالي ٦٠٠ إلى ٢٥٠٠ دبّوسِ، حتى خطوة مقدارها ١.٢٧ مليمترِ و١.٠ مليمترِ. بينما البعض مِنْ هذه عبارة عن مفاتيح رقمية للإتصالات telecom digital switches ، والأغلبية

الواسعة الانتشار هى مصفوفات بوابة المجال القابل للبرمجة field programmable gate arrays (FPGAs) الجديدِ. المُنتَجات الحالية لَهُا أغلفة بعدد ٢٤٠ إلى ١٢٠٠ دبّوسِ.

٤-٧-٢ فوائدِ التوصيلات البينية عالية الكثافة

Advantages of HDI:

تقدم نقاط العبور الدقيقة Microvias عِدّة فوائد مُتميّزة على نظرائِها المَصنعة ميكانيكياً. وهى مدرجة فيما يلي.

١. الأنظمة بكثافةِ الدائرةِ الأعلى مع الأداءِ الكهربائيِ الاحسن يُمْكِنُ أَنْ يُخْلَقَ بإستعمال العناصر الأصغر والأكثر تقدّماً والمتوفرةِ. كنتيجة، المنتجات الأصغر، والاخف والاكثر متانة يُمْكِنُ أَنْ تُبْنَى. وهى قادرة على تحقيق كثافةَ أعظمِ، التي بدورها، تزيد الإمكانية لتخفيضِ عدد الطبقات وتخفض تكلفةِ الصناعة.

٢. تخفّضُ نقاط العبور الدقيقة Microvias ضوضاء التحويل switching noise، التي تُنْسَبُ إلى المحاثّة الكهربائيةِ والسعة الناقصتان لنقطة العبور الدقيقة microvia بينما مقاسها الطبيعي يُصبحُ أصغر وأقصر. هناك تخفيض في إنعكاسِ الاشارة وتداخل الحديث بين المسارات.

٣. نتيجة للزيادة في مساحة مقدرة التوجيه routability، من المحتملُ وَضْع المزيد من مستوى الأرضي حول العناصر. بعَمَل هذا، فإن مقاس عودة الارضي يتناقص، مؤدياً إلى تخفيض تردد الراديو والتدخلاتِ الكهرومغناطيسيةِ.

٤. تتطلّبُ نقاط العبور الدقيقة Microvias إستعمال الموادِ الأقلِ وخطواتِ المعالجة الأقلِ، كلاهما يخفّضْ تكلفةَ تصنيع المُنتَجِ.

٥. نقاط العبور الدقيقة Microvias مصنعة بالتعريفِ الفوتوغرافيِ، أو إستئصال ليزرِ، أَو نقش بلازما وتقدم فوائد مُتميّزة على نظرائِها المَحْفُورة ميكانيكياً.

٤-٧-٣ تصميم التوصيلات البينية عالية الكثافة

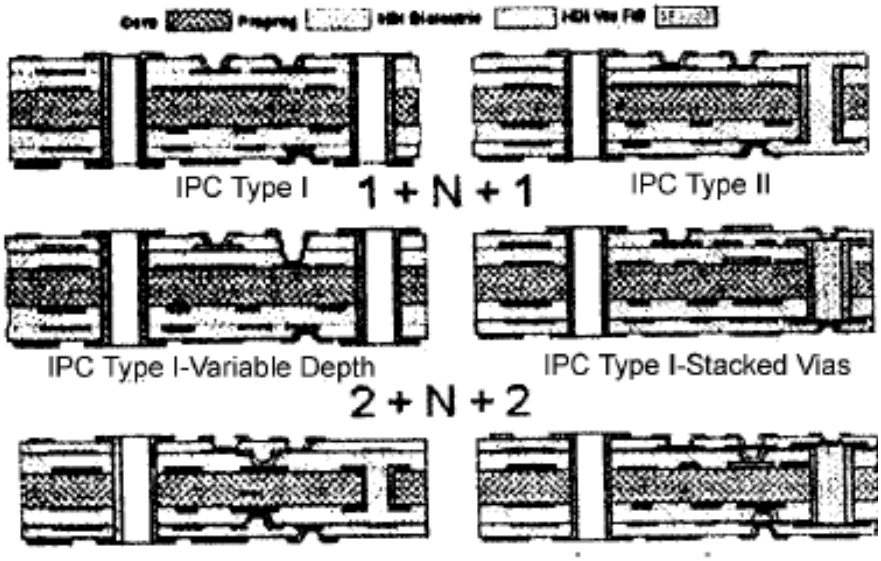
Designing for HDI:

طوّرت IPC المعايير الذي بها يجب أن يكون المصممين على معرفة بها. المعلومات الأساسية المطلوبة لهذا الغرضِ تكون كالتّالي:

_ IPC HDI Standards (IPC-2315, IPC-4104, IPC-6016, IPC-9151 [2]);
_ Material selection (IPC-4104); and
_ Stack-up and design rules (IPC-2315).

المعيار IPC-2315 لتصميم التوصيلات عالية الكثافة :

سَيَكُونُ هذا مساعدَ لإخْتيارَ التكنولوجيا / الهندسة المعمارية الأقل والاسهل للتصميمِ. الشكل رقم (٤-٤٠) يوضح تركيبات نقاط العبور الدقيقة الاكثر شيوعاً مِنْ الأسهلِ (النوع ١) إلى الأكثر تعقيداً (النوع ٣) مَع نقاط العبور vias المكدّسة.



شكل رقم (٤-٤٠) يوضح النوع ١ إلى النوع ٣ وهى أكثر الانشاءات لنقاط العبور الدقيقة شيوعاً المستخدمة من الاسهل (النوع ١) إلى الأكثر تعقيداً (النوع ٣) الصادرة عن IPC في موضوع HDI .

إختيار المادة :

الخطوةَ الأكثر أهميةً في تصميمِ HDI هو إختيارُ الموادِ التي تحدد الاداء وتكنولوجيا الصناعةَ. عند التَصميم HDI، يُمْكِنُ للفرد أَنْ يَختارَ مِنْ المدى المتزايد مِنْ الموادِ الجديدةِ المتوفرةِ التي لَمْ

تستَعملْ عموماً للألواح المتعددةِ الطبقات التقليديةِ. الالواح المدعومة بالزجاج وأوراق النحاس الرقيقة المَكْسُوة تعتبر الأكثر شعبيةً لمواد HDI و (Holden, 1997).

التكدّسْ لأعلى وقواعد التصمّيمْ Stack-up and Design Rules :

إختيار تكدس طبقةِ الإشارة لأعلى وقواعدِ التصميمِ يحددان القابلية القصوى لتوزيع الأسلاك wiring capability (Wc) للتصميم. الشكل التخطيطي schematic وقائمة أجزاءِ العناصر الكليّةِ، سويّاً مع توصيلاتها، يمكن أن تُستَعملَ لتَخمين أطوالِ توزيع الأسلاك الكليّةِ المطلوبة لتوصيل هذا التصميمِ. هذا هو مطلبُ توزيع الأسلاك (Wd) wiring demand. سعة (قدرة)التوزيع الفعلي للأسلاك تساوي السعة (القدرة) القصوى لتوزيع الاسلاك مضروباً في كفاءة تصميم الشكل العملي(LE) layout efficiency. قدرة توزيع الأسلاك الفعليةِ يَجِبُ دائماً أَنْ تَكُونَ أكبر مِنْ مطلبِ توزيع الأسلاك، Wd < = LE * Wc .

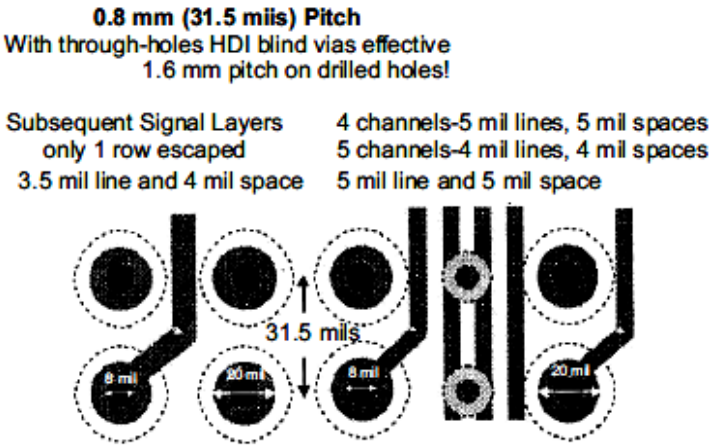
كفاءةَ الشكل العملي (LE) layout efficiency هى القدرةُ على دفع قواعد التصميمِ للمنتج النهائي. كلما كانت كفاءة الشكل العملي اعلى، كانت طبقات الاشارة أصغر أَو أقل مطلوبة.

اقترح هولدين (٢٠٠٣ b) أنّه إذا خطّطُ لتَصميم لوح عالي الكثافة HDI، إبدأ بإعداد نظامِ الحاسب المساعد في التصميم CAD system واعد أداة نقل وإختبارِ كأول لوح HDI . أي أداة نقل لأنماط هبوط الاغلفة BGAs دقيقة الخطوة، نقطة عبور في الوسائد via-in-pads، مخططاتِ إختبارِ التجميع في الدائرةِ in-circuit ، تركيبات إختبار التردد العالي وثقة سلاسل إقحوانِ جميعها ستُساعدُ للإجابة على الأسئلةِ الملحّةِ وتُزوّدُ بصيرةً على HDI بدون عرقلة بَعْض المشروعِ الجديدِ بشكل حرج . مساعدةَ قائمة CAD مثالية، حيث تُعرّفُ تركيبَ microvia HDI في تصميم PCB، وهى متوفرةُ دائماً في الحزم البرمجية مثل أحد رسومات Mentor Graphics.

احد اساليب تصميمِ HDI المفيدة جداً هو أَنْ تَستعملَ نقاط العبور المستورة لفَتْح المزيد من الفراغات الموجهة على الطبقة الداخلية. هذا يظهر في الشكل رقمِ (٤-٤١). بإستعمال نقاط العبور المستورة، فإن فضاء أو فراغ التوجيه عملياً يتضاعف doubles على الطبقاتِ الداخليةِ والمزيد مِنْ المسارات يمكن أن يستَعمل لإيصأل الدبابيسِ على الصفوفِ الداخليةِ للغلاف BGA . بهذا

الاسلوب، فإنه من نِصْف إلى ثُلث عددِ طبقاتِ الإشارة يكون مطلّوبُ لتوصيل الغلاف BGA المعقد ذو المداخل/المخارج العالية.

العديد من ألواح HDI لديها متطلباتِ الممانعة المحكومة كما في ألواح الدوائر المطبوعة التقليدية. عندما تكون سرعات الحافة كبيرة والمسارات طويلة بالمقارنة، من ثمّ فإن الممانعة الكهربائية مَنْ الضَّرُوري أَنْ تُؤْخَذَ في الحسبان. في حالة الألواحِ التي لديها تصميم لكل من الجهد المنخفض والسرعة العالية، فإن هامش الضوضاءَ noise margin سَيَكُونُ أقل ومن ثم المزيد من التعرض للتغييراتِ في الممانعة الكهربائيةِ التي تُسبّبُ الإنعكاساتَ (Gaudion، 2000).



شكل رقم (٤-٤١) يوضح توجيه القناة يستخدم نقاط عبور مستورة لخلق قناة في الطبقة الداخلية لتوجيه الدبابيس الداخلية للخارج على العناصر.

٤-٨ التداخل/التوافق الكهرومغناطيسي

:(EMI/EMC) Electromagnetic Interference/Compatibility

الدوائر الرقمية ذات السرعةِ العاليةِ تعتبر المصدر الرئيسي للإشعاعِ الكهرومغناطيسي. يُؤثّرُ مستوى الإشعاعاتِ مِنْ ألواح الدوائر المطبوعة بشكل ملحوظ بمعدلات الساعةِ العاليةِ، وأزمنة إرتفاع وسقوط الاشارة السريع، والطول الكبير للمسارِ وشبكةِ الأرضي السيّئةِ. عند الترددات العالية، المسارات على لوح الدائرة المطبوعة يقوم بعمل الهوائيات أحادية القطب mono-pole والحلقية loop. تصبح تأثيرات خَطِّ التراسل إعتبارَ هام للتصميمِ حيث أنه عندما يكون طولِ المسار سُبع طولِ موجة

الإشارةِ المنقولة. إذا كان تردد ساعةِ النظامَ ٢٠٠ ميغاهيرتزُ، وطول الموجة في اللوح FR4 يكون حوالي ٠.٥ متر.

قام أونلي (٢٠٠٣) بشرح إعتباراتَ تصميمِ التوافق الكهرومغناطيسي EMC لألواح الدوائر المطبوعة ذات السرعة العالية. في الدوائرِ الرقميةِ، بيان النبضَة "١" "٠" يحمل على الحافة المتقدمة للنبضة. التردد و زمن إرتفاعِ الإشارةِ ذو علاقة كالتّالي:

$$Tr(\text{rise time in nS}) = 0.35 / \text{frequency} \quad \text{in GHz}$$

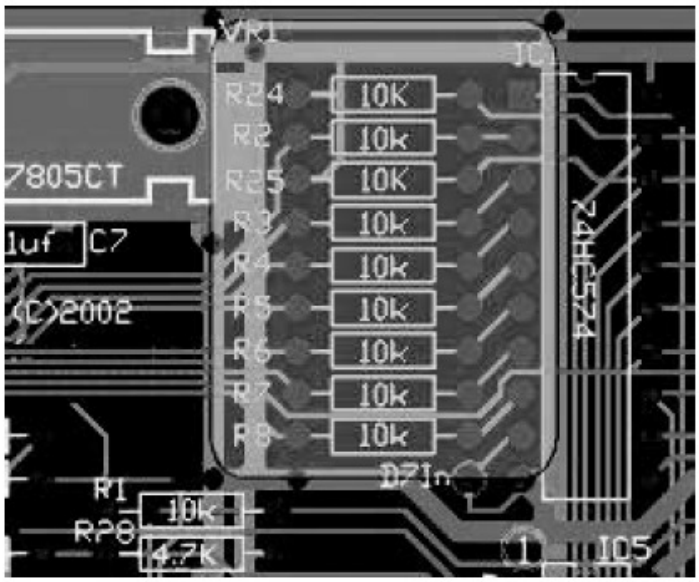
الجدول رقم (٤-٢) أزمنة الارتفاع وأطوالَ الموجة للدوائر المتكاملة الشائعة عالية السرعة.

Parameter	TTL	Schottky TTL	ECL	GaAs
Output Rise Time (ns)	6-9	2-3	0.45-0.75	0.05-0.20
Wavelength in free space (m)	6.8	2.5	0.52	0.086
Wavelength in FR4 (m)	3.1	1.2	0.24	0.04

في حالة الدوائر ECL، التردد سَيَكُونُ ٠.٣٥ / ٠.٤٥ = ٧٧٧ ميغاهيرتز التي تُترجمُ إلى طول موجي حوالي ٣٧٥ مليمترَ في الهواءِ الحر أَو ١٧٥ مليمترِ في 100 FR4 مليمتر في الخزفِ. لذا، إذا كان طولِ المسار أكثر مِنْ ٢٥ مليمتر لألواح الدوائر المطبوعة المصنعة من FR4، من ثمّ ستكون تأثيرات الخصائص الكهرومغناطيسية لإشارة ECL وخَطَّ الإرسالَ يجب أنْ تؤخذ بعين الإعتبار.

يَتعلّقُ إعتبارُ التصميمِ الآخر بالممانعة الكهربائيةِ المميزةِ. الممانعة المميزة من خمسين إلى ثمانين أوم تُستَعملُ في أغلب الأحيان في التصميمات السريعةِ جداً. قِيَمَ الممانعة الكهربائيةِ الاقل تُسبّبُ تداخل حديث cross-talk di/dt مفرط ويُمْكِنُ أَنْ تضاعفَ القدرة المستهلكة لخَلْق مشكلة تبديد الحرارةِ. بينما الممانعات الكهربائية لَيستْ فقط تنتج تداخل حديث عال ، لكن أيضاً تنتج دوائرَ مع حسّاسيةِ واشعاع EMI .

المفهوم المهم في تصميمِ PCB للإلتزامِ EMI هى مفهومُ مساحة الحلقةَ. أي دائرة قَريبة من مساراتِ كالموضح في الشكل رقمِ (٤-٤٢) حيث يَشْملُ حلقة. هنا، التداخل يُمْكِنُ أَنْ يَدْخلَ ويخرج من لوح الدائرة المطبوعة إلى المساحات داخل الحلقات. الأصغر أبعاد لكُلّ حلقة، الأصغر سَيَكُونُ مقدار التداخلِ الّذي سَيُتعاملُ معه. مجموعة الدوائر على اللوح قَدْ تُحتَوى داخلها على عِدّة حلقات صغيرة، خلال توزيعِ تغذية القدرة الشبكية. أفضل توزيعِ هو باستخدام مستويين مستمرين أو لوح من النحاسِ.



شكل رقم (٤-٤٢) يوضح مفهوم المنطقة الحلقية للإلتزام EMI في تصميم لوح الدائرة المطبوع.

لوح دائرة مطبوعة مكون من اربعة طبقات، الطبقتين المركزيتينِ أستخدمتا لتغذية القدرة والأرضي، في أغلب الأحيان يُستَعملُ لتقلّيلْ الإشعاعاتَ EMI وسهولةِ التأثّر. طريق واحد هذا يَعْملُ بجَعْل مساحة الحلقةَ صغيرة جداً. بينما عندما تستعمل ألواح الدوائر المطبوعة ثنائية الجانب، بدون فرصةِ لمستويات الارضي، هناك إنتباه خاصّ يجب أنْ يُدْفَعَ إلى مساحة الحلقةَ. دوائر التردد العالي، مثل البلوراتِ، يَجِبُ أَنْ يغلف أو يطوق بشكل كلي بأرضي. إذا كان هناك فرصة لأرضي، فإن التغليف المعدني لمثل هذه العناصر، هو عادة نافع لعَمَل ذلك.

تغليف أو تطويق مسارات الاشارة بين مستويات الأرضي والتغذية حيث تُزوّدُ بتحجيب الذي يخفّضُ كل من الإشعاع radiation (بحدود ٤٥ ديسيبلِ) وسهولة التأثّر susceptibility للإشعاعِ، بجانب التزوّدُ بحمايةَ ESD. يعتبر هذا ممارسة جيدة لتَوجيه إشارات ذات زمن إرتفاعِ سريع، عالية السرعةِ بين تلك المستويات لإزالة الإشعاع. إذا وجد سعة كبيرة بين القضبانِ rails ، فإن كل من المستويين الأرضي والتغذية قَدْ تُستَعملُ كمستويات اسناد.

عناصر توليد التوقيت clock generation يجب أنْ توضع بالقُرْب من مركزِ لوح الدائرة المطبوعة أَو مجاورة لموقع أرضي الهيكلِ chassis، بدلاً مِنْ على طول حافةِ اللوح أَو بالقُرْب من قطاع المدخل/المخرج (Montrose،٢٠٠٣). خطوط الساعةَ clock lines يَجِبُ دائماً أَنْ تُبْقَى قصيرة. المسار الأطول، يعطي الفرصة لتكون تيارات التردد الراديوي، والمزيد من الاطياف spectral حيث توزعَ الطاقة الراديوية المتكونة. مسارات الساعةِ يجب أنْ تُنهي لتَخفيض حلقات رن الجرس ringing (يُحسّنُ سلامةً الاشارة)، وإلى منعْ تكون التياراتِ الراديوية القابلة للتجنّبِ. لكي يُقلّلَ التداخلَ الكهرومغناطيسيَ وسهولة التأثّر، ولتَحقيق التصميمِات التي تعمل على ذلك، هناك حزم برامج متوفرة التي يمكن أن تُستَعملَ لتحلّيلْ التخطيطَ العملي الطبيعيَ وتخَمّينْ إمكانيةَ الإنبعاث المَشْعُوع لمساراتِ الإشارة على PCB (Lum and Waddell, 1996). تَتراوحُ هذه الأدواتِ مِنْ السرعة، والأدوات التفاعلية التي تُزوّدُ بالتحليل المحافظ إلى أدوات تحليل كاملةِ 3- D للتَزويد بالنَتائِجِ المُفصّلةِ.

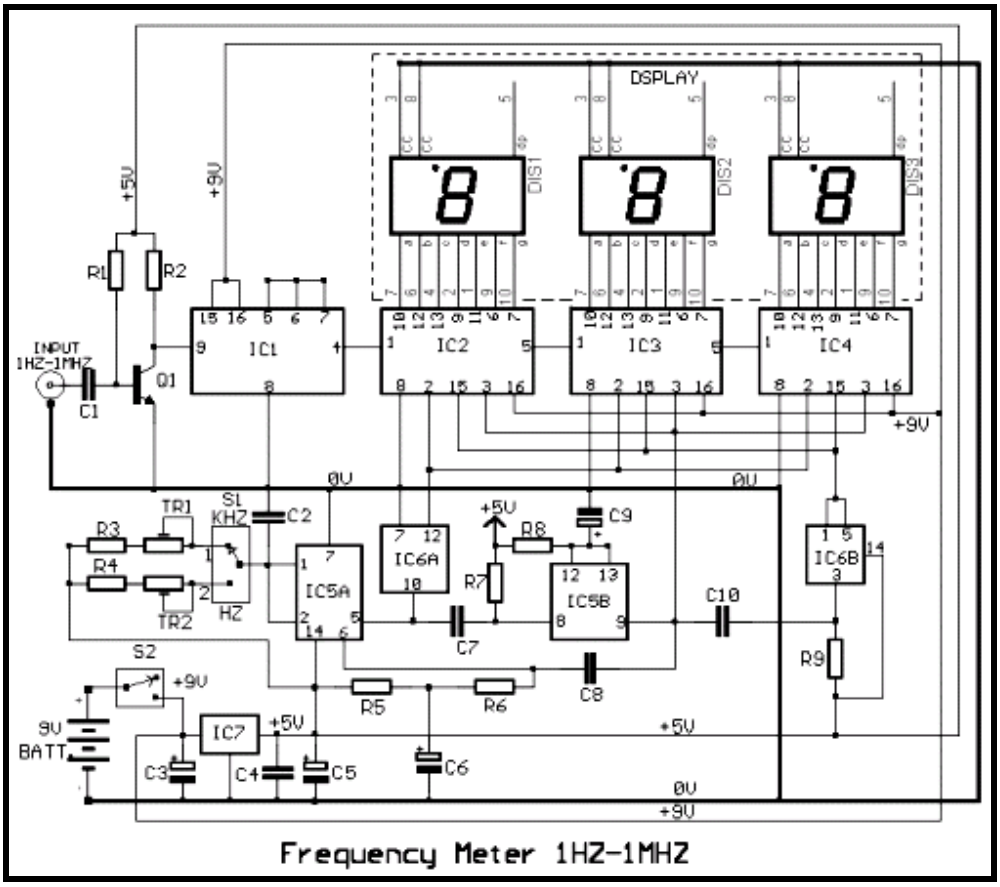
٤-٩ معايير مفيدة :

Useful Standards

- IPC-SM-782-A: Surface Mount Design and Land Pattern Standard-Includes Amendments 1 & 2: Includes land patterns for all types of passive and active surface mount components; also covers EIA/JEDEC registered components, land pattern guidelines for wave or re-flow soldering, dimensioning system, via location guidelines, etc.
- IPC-EM-782: Surface Mount Design and Land Pattern Standard Spreadsheet: Includes industry consensus land pattern sizes; providing appropriate size, shape and manufacturing tolerance of lands.
- IPC-HDI-1: High Density Interconnect Microvia Technology Compendium: Includes standards, specifications and guidelines to produce high density interconnect (HDI) and microvia boards. The document comes with other multiple documents, defined separately.
- IPC-6016: Qualification and Performance Specification for High-density Interconnect (HDI) Layers or Boards: Covers specific electrical, mechanical and environmental requirements for organic HDI layers with microvia technology.
- IPC-2141: Controlled Impedance Circuit Boards and High-speed Logic Design: Provides design guidelines for printed circuit board designers, packaging engineers, printed board fabricators and procurement specialists.
- IPC-2252: Design Guide for RF/Microwave Circuit Boards: Covers information required to design practical, functional and cost-effective microwave circuit boards in the frequency range of 100 MHz to 30 GHz.

تمارين

ارسم الدائرة التالية مع الأخذ في الحسبان اعتبارات التصميم المتبعة في مثل هذا النوع من الدوائر.



Frequency Meter 1HZ-1MHZ

Q1= 2N930
IC1= 4583
IC2-3-4= 4026
IC5= 556
IC6= 4007
IC7= 7805
DS1-3=Display 7 Seg. Comm. Cath.
S1= ON-OFF mini switch
S2= 1X2 mini switch

C4= 100nF 63V
C5= 2.2uF 16V
C6= 10uF 16V
C7= 10nF 63V Mylar
C8-10= 1nF 63V Mylar
C9= 1uF 16V
TR1= 1M ohm trimmer
TR2= 1Kohm trimmer

R1= 8.2Mohm
R2-9= 100Kohm
R3= 470Kohm
R4= 470 ohm
R5-6-7= 10Kohm
R8= 3.3Mohm
C1-2= 1uF 63V Mylar
C3= 47uF 16V

الباب الخامس

إنتاج العمل الفني

(أداة الطباعة الضوئية)

PCB Artwork Generation

الباب الخامس

إنتاج العمل الفني

(أداة الطباعة الضوئية)

PCB Artwork Generation

٥-١ ما هو العمل الفني؟

What is Artwork?:

العمل الفني ويطلق عليه أيضاً أداة الطباعة الضوئية phototool وكذا القناع mask وملف جربر وهو أساساً أداة تصنيع إستعملتْ في صِناعَة توزيع الأسلاك المطبوعة وهو ما يعرف إستثنائياً بنمط توصيلات الدائرة (الشكل العملي layout) الّذي سَيشارك في تشكيل الطبقة النحاسية الملتصقة على اللوح المدعوم. يَعْرِضُ العمل الفني فقط تلك الاشكال التي يَجِبُ أَنْ تُولّدَ كأنماط نحاسية في صناعةِ لوح الدائرة المطبوعة. حيث سَيَتضمّنُ العمل الفني بالضرورة وسائد اللحام solder pads ونقاط الهبوط lands وموصلات (مسارات) بالمِقياسِ الحقيقي فيما يتعلق بأبعادِها، إلا أنها قد تكون معروضَة في مستوى قياسِ معين. وبالإضافة، سيظهر العمل الفني أيضاً الخطوطَ التي تُمثّلُ حَدَّ اللوح.

وحيث أن العمل الفني يعتبر الخطوةُ الأولى لعمليةِ تصنيع لوح الدائرة المطبوعة لما يتضمنه من عمليات تصنيع اللوح المطبوع، لعدد من الأقنعة لتنفيذها، التي لها تأثير عظيم على المنتج النهائي.

من ناحية أخرى يجب أَنْ يَقتربُ المنتج النهائي مِنْ جودة ودقةِ هذا العمل الفني. توليد أو إنتاج العمل الفني والوصول به إلى التطوّرِ الضروريٍ معتمد بشدّةُ على المساحة (مقاس اللوح) والدقة. لذا، فإن أهمية العمل الفني المتقن لا يَجِبُ أنْ يستخف به. مشاكل مثل التسجيلِ الخاطئِ (التطابق الغير دقيق بين طبعات اللوح المطبوع) الذي يؤدي إلى عدم تتطابق طبعات أقنعة لوح الدائرة المطبوعة، أوالحلقاتَ المتبقية المكسورة annular rings أَو المباعدة الحرجةَ جداً تصبح ملحوظة على ألواح الدوائر المطبوعة في أغلب الأحيان نتيجة للعمل الفني السيئِ. تطوير النظافة والعمل الفني المضبوط يَستوجبُ مهارات وصبر من ناحية القائمين على هذه المهمة.

٥-٢ نظرة عامة على العمل الفني اليدويِ

General Approach to Manual Artwork :

انتاج عمل فني للألواحِ الاحادية الجانب single-sided boards هو تمرين بسيط، بينما إعْداد العمل الفني للبطاقات الإلكترونيةِ ثنائيةِ الجانب المطبوع، يُؤدّي إلى مشكلة في ضمان التسجيلِ (التطابق) الدقيقِ بين الجانبين.

التسجيل (التطابق) الصحيح والدقيق ذو أهمية كبرى في الألواحِ المتعددةِ الطبقات أيضاً حيث القصر shorting بين الطبقاتِ قَدْ يحْدثُ بسبب الإصطفافِ الغير صحيحِ عندما يتم تثقيب تجميع اللوح للفتحات الخلالية المطلية.

٥-٢-١ الرسم بالحبرِ على لوح كرتوني ابيض

Ink Drawing on White Card Board Sheets:

هذه الطريقةُ الأسهلُ والأسبقُ إستعملتْ لتصميمِ العمل الفني للوح الدائرة المطبوعة. الموادَ المطلوبَة في هذه الطريقة هي حبر ممتاز ولوح ورق كرتوني أبيض وقلم حبرِ. يفضل الورق المدعوم بشبكة بيانية ذات الخطوط الزرقاء حيث أن مثل هذه الخطوطِ لا تظهر في العمليةِ الفوتوغرافيةِ لإنتاج الفيلمِ الرئيسي. يستخدم أيضاً ورق البولسترِ المناسبِ، الذي يكون أكثر استقراراً بشكل بعدي مِنْ لوح الورق الكرتوني، يُمْكِنُنا أيضاً استخدامه لرسم نمطِ الحبرَ كما بالشكل رقم (٥-١). على أية حال،

أحد جوانب الورقِ الرقيق (البوليستر) يَجِبُ أَنْ يكونَ لديه سطح خشن أو حصيرة حتى يلتصق به الحبر.

في هذا الاسلوب، محيط وسائد اللحامِ والفتحاتِ المركزيةِ المَرسومة بفرجار رسم والفراغاتَ فيما بينها تملأ بالحبرِ. الموصلات مرسومة بقلمِ حبرِ إمّا بواسطة تجهيزه مباشرة بالعرضِ المطلوبِ أَو برسم خطين مزدوجين، حيث يتم ملؤهما فيما بعد بالحبرِ.





شكل رقم (٥-١) يوضح تنفيذ الشكل العملي على ورق البوليستر وأقلام التحبير

هناك طبعات (شبلونات Templates) بمِقياسِ رسم ١:١و ٢:١ و ٤:١ متوفرة، وتعمل هذه الطبعات كمساعد مفيدٍ لرسم وسائد اللحامَ المتكررة والكثيرة. حيث أن هذه الطريقة يدوية كليةً، إلا أنها تعاني مِنْ الأخطاءِ العديدة. على سبيل المثال، أبعاد العرض المختلفة للموصلات قَدْ تَتفاوتُ على الأقل بواسطة ٠.١ –٠.٢ مليمتر ومواقعَ وسائد اللحام والموصلات يُمْكِنُ بسهولة أن ترحل (أو تستبدل) بمسافات مقدارها ٠.٣ –٠.٥ مليمتر. أيضاً عدم الإستقرار البعدي للورق المقوّى، ٠.٠١ % سنتيجراد فيما يتعلق بدرجةِ الحرارة و٠.٠٠٥ % أى ٠.٠٠٠٥ % رطوبة نسبية (RH) فيما يتعلق بالتغيراتِ في الرطوبة النسبية، حيث يُمكنهما أَنْ يكُونا مصدر خطأ في الألواحِ العالية الدقة. هذه الطريقةَ تُستَعملُ الآن نادراً نتيجة للإستقرارِ السيّئِ والنَتائِجِ الغير دقيقةِ.

هذه الطريقة قديمة إلا أنها قد تستخدم في الإنتاجية الصغيرة جدا للدوائر المطبوعة البسيطة. و قد أسقطت هذه الطريقة من الحسبان نظراً لتعقيدات أشكال نقاط لحام الدوائر المتكاملة ذات العدد الكبير من الأطراف وعدم توافر الدقة العالية عند تمثيلها يدوياً. فمحاولة الرسم اليدوي في تصميم الدوائر المطبوعة يعتبر مخالفة للعصر المتقدم في الصناعات الإلكترونية. حتى أن الإنتاجية الصغيرة للدوائر يتم تنفيذها بدوائر مطبوعة ذات الشرائط النحاسية والتي سنذكرها فيما بعد كنموذج تطبيقي.

٥-٢-٢ لصق الشرائط حالكة السواد على ورق أساسي شفّافِ

Black Taping on Transparent Base Foil:

انتاج العمل الفني اليدوي أَصْبَحَ سهلَ جداً منذ وصولِ نوع الوسائد المنقولة ذاتية اللصقِ أَو الشرائط الدقيقة، ولَنْ يَعتمدَ على مهاراتِ الرسم العاليةِ وصبرِ الرسام.

الأشرطة الذاتية اللصق

Self-Adhesive Tapes:

وهى متوفرة في تشكيلة واسعة من ابعاد العرض width المختلفة، التي يُمْكِنُ إختيارها بالإعتِماد على التطبيقِ. وهى تورد في لفّاتِ بأبعاد عرض مختلفة قياسيةِ مِنْ ٠.٥ مليمترِ، ١مليمتر، ٢مليمتر، ٤ مليمترِ و٨ مليمترِ؛.. الخ، الشكل رقم (٥–٢). تفاوت العرضَ يُمكنُ أَنْ يَكُونَ ٠.٠٥– ٠.١ مليمترِ إعتماداً على عرضِ الشريطَ والمنتج manufacturer .



شكل رقم (٥-٢) يوضح مقاسات الأشرطة

الوسائد الذاتية اللصق

:Self-Adhesive Pads

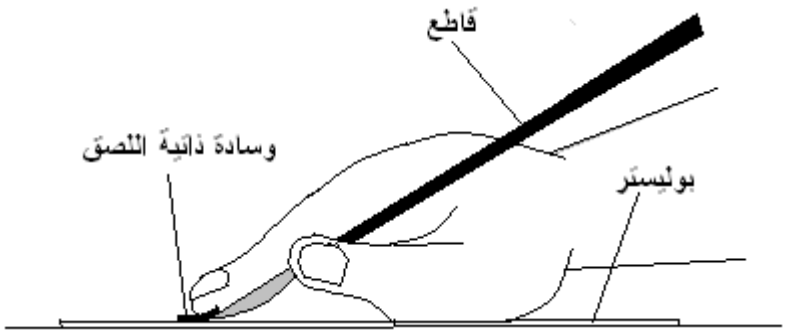
الوسائد متوفرة في الأشكالِ القياسيةِ مثل الكعكة donut، المربع square، المسدس HEX، البيضاوي oval، والدمعة tear drop والمثلثة triangular. هذا يتضح في الشكل رقمِ (٥-٣).

هناك نوعان مختلفانَ مِنْ الوسائد تَستعملانِ عموماً وهما:

- النوع الذاتي اللصق Self-adhesive type و
- النوع المعار (المنقولَ) Transfer Type.

	Donut pads		Donut pads (solid)
	Square pads		Square pads (solid)
	Hexagonal pads		Teardrop pads (double end)
	Oval pads (one hole offset)		Teardrop pads (with fillet radius)
	Oval pads (two holes)		Teardrop pads (with straight side fillets)

(تابع) شكل رقم (٥-٣)



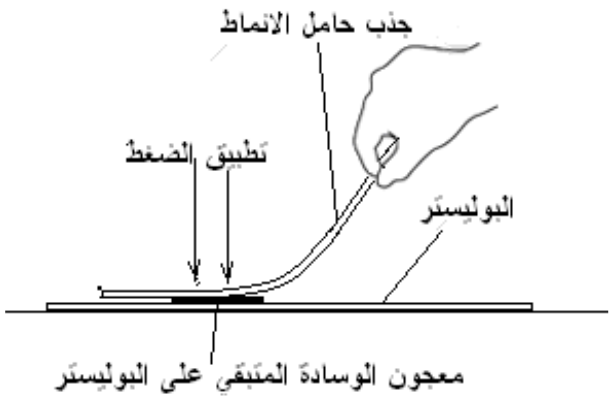
شكل رقم (٥-٣) يوضح الاشكال القياسية للوسائد الذاتية اللصق ، كل الوسائد ١،٢٧ ملليمتر، وكيفية تثبيت هذه الاشكال.

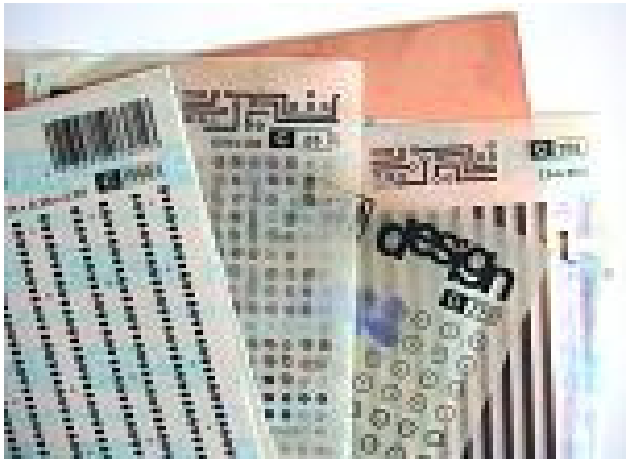
الوسائد المعارة (المنقولة)

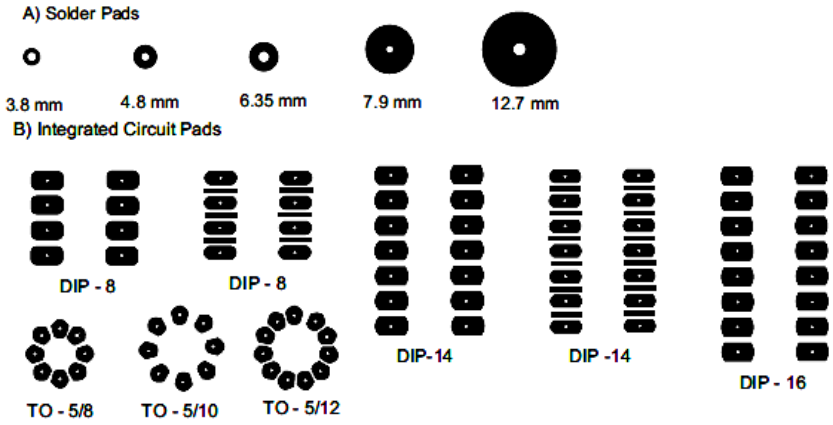
:Transfer Pads

وهى مطبوعة على فيلمَ رفيع بسمك نموذجي مقداره ١٠ ميكرون، حيث تثبت على جانب القمةِ في مقابل شريط ناقلِ شفّافِ. معجون الوسادة يُمْكِنُه أَنْ ينتقل مِنْ الشريطِ الناقلَ على قاعدة العمل الفني (صفحة بولسترِ أساسيةِ) بواسطة الضغط فقط بنهاية عودِ خشبي أَو قلمِ رصاص. الشريط الناقل يُمْكِنُ من ثمّ أن يرفع مِنْ قاعدة العمل الفني تاركاً ورائه الوسادةَ، الشكل رقم (٥-٤) .

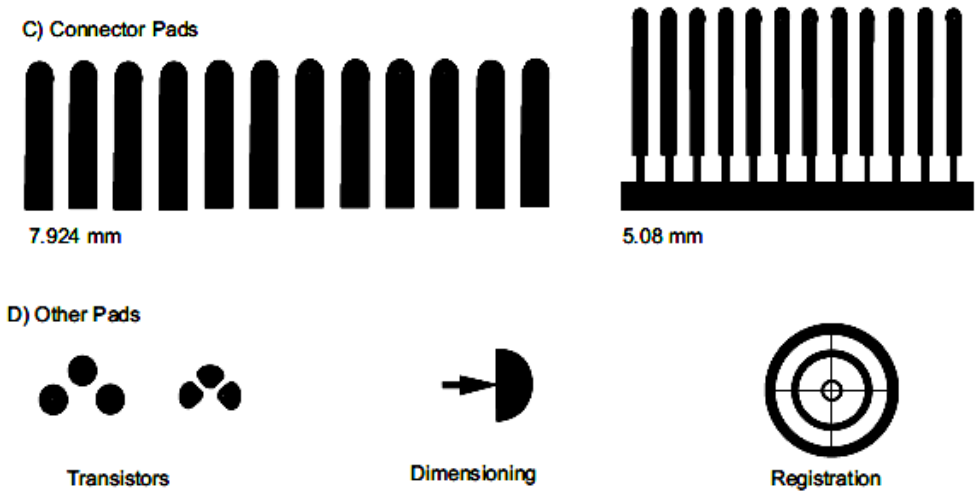
لكي نقلّلَ من وقتَ تحضيرِ العمل الفني ولإنْجاز الدقةِ في وَضْع الوسائد في شكل وسائد اللحام، هناك أنماطَ سابقة الترتيب مثل طبعات أو آثار قدم الدائرة التكامليةِ، وأنماط وسائد متجاورة للمقابس وأنماطِ خاصّـةِ للعناصر ذات التغليف TO يُمْكِنُ أَنْ تستَعمل. هذه الانماط سابقة الترتيب عادة تكون للعناصر المتعددةِ الأطراف وعموماً مدعوَّة باسم آثارِ أو طبعات القدم footprints : على سبيل المثال، نمط الدائرة المتكاملة ذات ١٦ دبّوس طرفي تدْعَى DIP 16 footprint وهكذا. بَعْض الآثارِ أو طبعات القدم المثاليةِ معروضة في الشكل رقمِ (٥-٤).







(تابع) شكل رقم (٥-٤)



شكل رقم (٥-٤) يوضح وسائد خاصة مستخدمة بشكل شائع لإنتاج العمل الفني بمقياس رسم ٢:١ وكيفية تثبيتها على سطح البوليستر

وهى طريقة أخرى يتطلب فيها توافر صفحات عليها مفردات رسم وتصميم الدوائر المطبوعة مثل تمثيل نقاط اللحام بمقاسات مختلفة –وتمثيل المسارات النحاسية لتوصيلات الدائرة بأبعاد سمك مختلفة. و يتوافر بسوق الخامات الالكترونية مفردات منفذة بحبر عادي ويتم تصميم الدائرة على ورق كلك أو استشفاف بالضغط على أشكال مفردات الدائرة المطلوبة وفي هذه الحالة يستلزم طباعتها ضوئياً على سطح اللوح أو مفردات منفذة بحبر مقاوم للأحماض و يكتب عليها العبارة antiacid patterns أو أى عبارة أخرى لإيضاح أن هذه الأشكال لا يتطلب إنزالها على ورق كلك بل مباشرةً على السطح النحاسي للوح حيث يتم معالجة اللوح بالحامض مباشرة دون الحاجة لطباعة الشكل المكون ضوئياً.

أفلام البولسترِ Polyester Films:

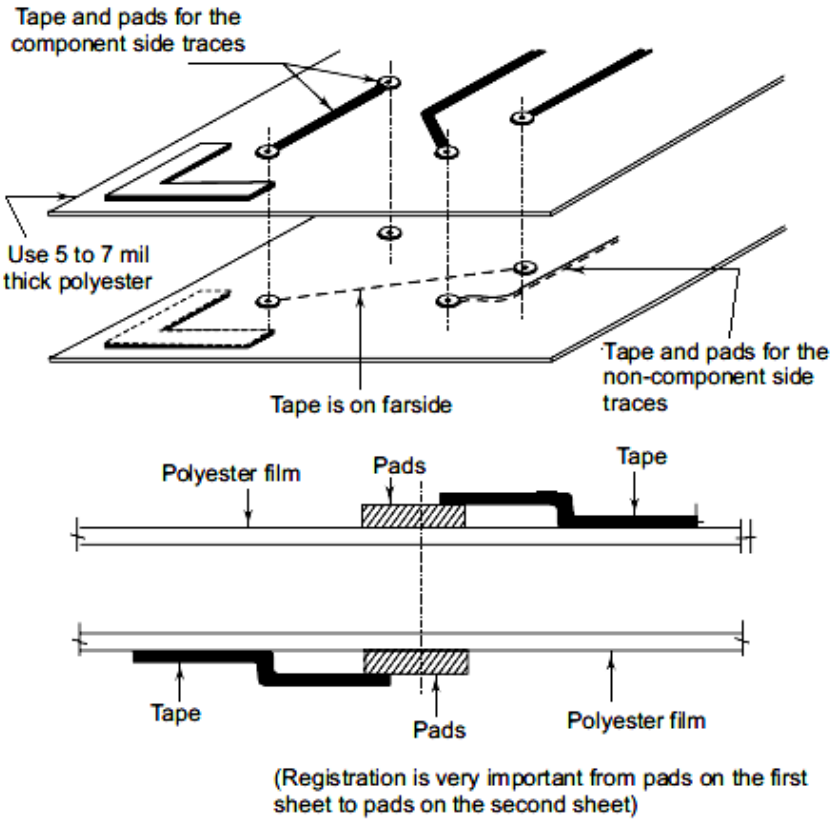
وهى تستخدم عادة كورق رقيق لقاعدة العمل الفني حيث تعطي إستقرارَ بعديَ ممتازَ. ويجدر بالذكر أن القِيَمَ المثاليةَ التي تحقق الاستقرار البعدي هى 17 ppm/°C بالنسبة إلى تغير درجةِ الحرارة و 11 ppm /%RH بالنسبة إلى التَغْيير في الرطوبة النسبيةِ (ppm = جزء في المليون). وتتوفر أفلام البولسترِ بعديد مِنْ ابعاد السمك المختلفة. على أية حال، يَجِبُ أَنْ يَكُونَ السُمك الأدنى مقداره ١٠٠ ميكرون لتمكين الإستقرار الميكانيكي الكافي ضدّ التجاعيدِ. ومن المعروف أن أفلام البولسترِ

متوفرة بالطبعات البيانية السابقة الإعداد. قَدْ يتم انتاج العمل الفني لألواح الدوائر المطبوعة ثنائية الجانب بإستعمال أمّا ' العمل الفني لطبقتين اثنتين ' أَو ' العمل الفني لثلاثة طبقات'.

العمل الفني لطبقتين اثنتين

:Two Layer Artwork

في هذه الطريقة الشكل رقم (٥-٥)، هناك أعمال فنية منفصلة أعدت لجانبِ العناصر وجانب اللحام للوح الدائرة المطبوعة. وتعتبر هذه الطريقةَ معقدة حيث من الصّعبِ جداً إنْجاز تسجيلِ دقيقِ بين الطبقتين.



شكل رقم (٥-٥) يوضح طريقة ثنائية الطبقات لإنتاج العمل الفني.

العمل الفني لثلاثة طبقات

Three Layer Artwork:

تَحْلُّ هذه الطريقةِ مشكلةَ التسجيلَ للوسائد المشتركةِ بإعْداد عمل فني منفصل لما يلي: (i) موصلات جانب العناصر، (ii) موصلات جانب اللحام (وسائد اللحامِ، الوسائد أَو الدوائر المتكاملة، فتحات العبور،.. الخ)، و(iii) الوسائد، التي تكون مشتركة لكلا الجانبين وتُشكّلُ الطبقةَ الثالثةَ. مَنْ الضَّرُوري وجود علامات تسجيلِ خاصّة لكُلّ مِنْ طبقاتِ العمل الفني. هذه العلامات مطلوبة لضبط الافلام الأصلية النهائيَة وقت الصناعةِ.

العيب الرئيسي لطريقةِ الطبقات الثلاثية هو أنه لتعديل أى عمل فني، فإن التصحيح الآني لطبقتين أَو حتى ثلاث طبقاتِ يكون مطلوب حيث يكون أحياناً إجراء مُتعب جداً.

٥-٢-٣ الشريط الأحمر والأزرق على ورق البوليستر الشفاف

Red and Blue Tape on Transparent Polyester Base Foil:

بإستعمال الأشرطةِ الخاصّةِ، من المحتملُ رسم الجانبينِ للعمل الفني على جانبى نفس الفيلم الشفّاف. وسائد العناصر، التي يَجِبُ أَنْ تَظْهرَ على كلا الجانبينِ للوح الدائرة المطبوعة أُنتجت بإستعمال الوسائد الذاتية اللصقِ السوداءِ. الموصل يتم، على أية حال، تنفيذه بإستعمال الشريط الأحمرِ الشفّاف لأحد جوانبِ الموصل وبالشريطِ الأزرق الشفّاف لجانبِ الموصل الآخرِ.

وحيثما يتم انتاج الفيلمين الأصليين، تكون عملية فصل الألوان مُنجَزُة بإستعمال المرشحاتِ الخاصّةِ. على سبيل المثال، مرشِح أحمر يستعملَ مع آلةِ التصوير سوف يمنع ظهور الموصلات الممثلة بالأشرطة الحمراء (عادة جانب اللحام) بينما يظهر فقط الأشرطة الزرقاء والنمط الأسود. بنفس الطريقة، المرشِح الأزرق سَوف لا يظهر الموصلات الممثلة بالأشرطة الزرقاء (جانب العناصر عادة) تاركاً فقط الأشرطة الحمراءَ والنمطَ الأسودَ لكى يَكُونَا مرئيان. وتكون النتيجة النهائيةَ هو تسجيلُ (تتطابق) مُطلقُ لجانبى لوح الدائرة الثنائي الجانب وهذه الطريقة تعتبر الأكثر سهولةً لإعداد ما سبق.

٥-٣ التعليمات العامة للتصميم لإعداد العمل الفني

General Design Guidelines for Artwork Preparation:

بصرف النّظر عن الطريقةِ المستعملة لتحضيرِ العمل الفني، هناك بَعْض التعليماتِ الأساسيةِ، التي مِنْ الضروري إتباعها. بالرغم من أن هذه التعليماتِ معنية بالإسلوب اليدوي لتحضيرِ العمل الفني، إلا أن بعض مِنْ المعاييرِ المهمةِ مثل تحقيقِ أمثلية عددِ مقاسات الوسائد، وأقطار التثقيب، وطول الاتجاه،.. الخ، هى أيضاً منسوبة حتى في حالة خطوات الاعداد للعمل الفني الآلي.

في مكتبات لوح الدائرة المطبوعة للعناصر، الأجزاء الرئيسية مثل الدوائر المتكاملة والمقابس ما زالا يحتلان الراسم الليزري raster المؤسس على البوصة. على أية حال، هناك إتجاه متزايد في الوقت الحاضر للعمل على الراسم الليزري المؤسس على المليمتر، خصوصاً للموصّلاتِ الجديدةِ. لذا، هناك حاجة لتَحويل المعلوماتِ من البوصاتِ إلى المليمترات، بشكل مُحدّد للوسائد والفتحاتِ والمساراتِ والتوضيحاتِ أو الخلوص. الجدول رقم ٥-١ يمثل آلة حاسبة للمساعدْة في تحقيق التحويلِ الضروري. 1 mil = 1/1000 Inch => 0.0254 mm

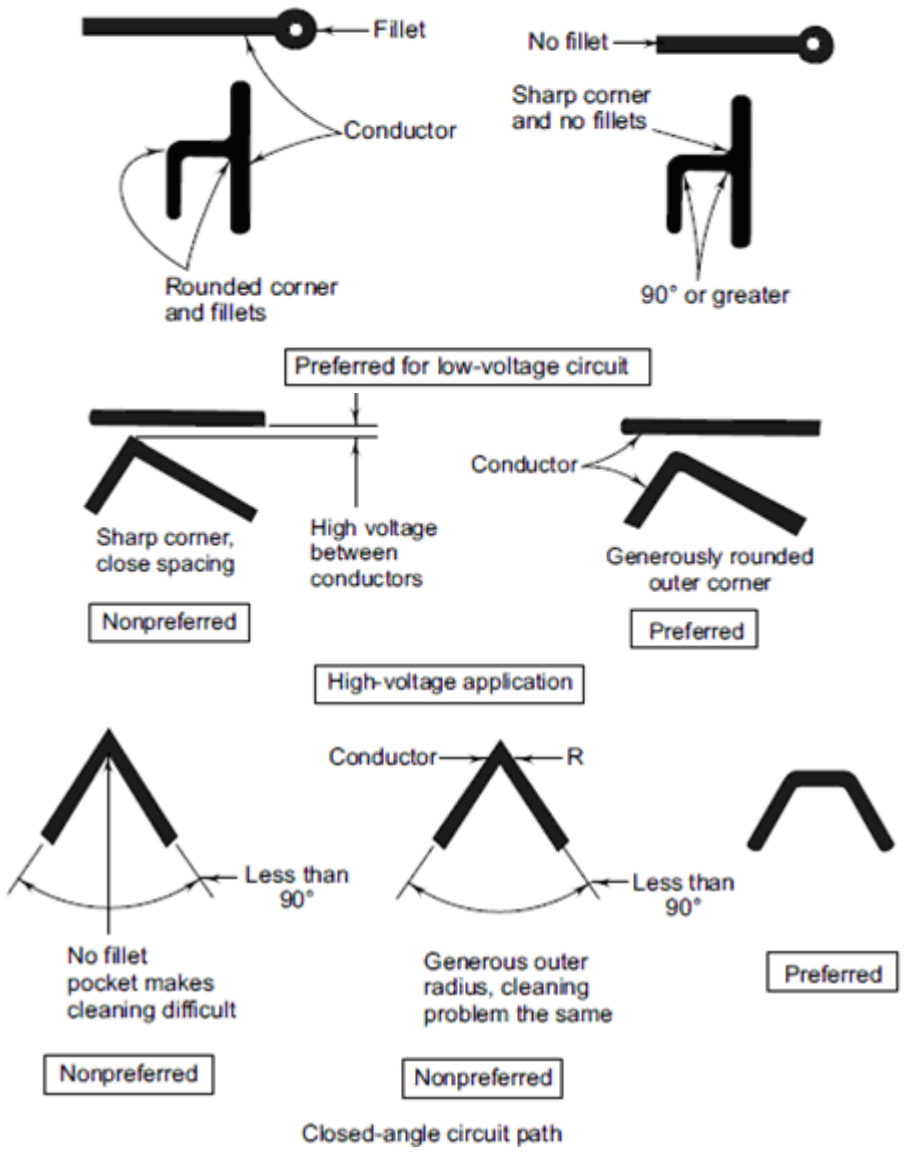
جدول رقم (٥-١) يوضح الابعاد بمل والمليمتر

PADs		Holes		Tracks		Clearances	
mil	mm	mil	mm	mil	mm	mil	mm
50	1,3	28	0,7	8	0,2	8	0,2
62	1,6	32	0,8	10	0,25	10	0,25
80	2,0	40	1	15	0,4	15	0,4
100	2,5	48	1,2	20	0,5	–	–

٥-٣-١ تكيف الموصل وفقاً للظروف

Conductor Orientation:

هو الممارسة العادية لإمرار الموصلات أساساً على أحد الجوانب في إتّجاهِ الاحداثي السيني وعلى الجانبِ الآخرِ في إتّجاهِ الاحداثي الصادي. هذا يعطي نمط موزّعَ بانصاف وبإنتظام مَع عدد أدنى من فتحاتِ العبور via.



شكل رقم (٥-٦) يوضح أشكال أنماط الموصل وزواياه

زوايا الموصل يَجِبُ أَنْ تتم عند الزوايا ٤٥ أو ٩٠ درجةِ أَو ٦٠/٣٠ درجة. هذه الموصلات مهيئة بشكل رئيسي لتصميمِ الشكل العملي للدوائرِ الرقميةِ. بينما للألواحِ المتماثلة (المناظرةِ)، الإنحناءات

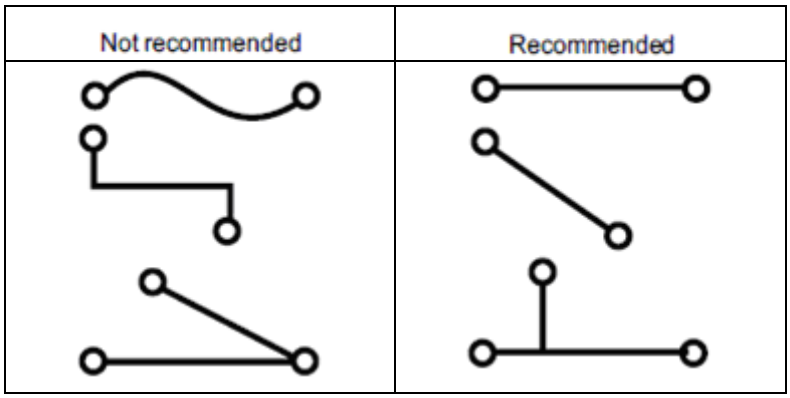
أو الإنثناءات تتم عادة على شكل أقواس. الشكل رقم (٥-٦) يوضح الزوايا التامة والمفضلة لتثبيت شرائط أى عمل فني. بالرغم من أن الآثارِ (المسارات) يُمْكِنُ أَنْ تُوجّهَ تقريباً في أيّ زاوية، ومن المهم أن تسير كُلّ الآثار (المسارات) المتجاورة بالتوازي وبنفس زوايا الانحناءات لتحقيق الإتساقِ uniformity. وهى تضْمنُ أيضاً الإستخدامَ الأمثل للفراغ المتوفرِ وتعطي ظهور جيد.

٥-٣-٢ توجيه الموصل

Conductor Routing:

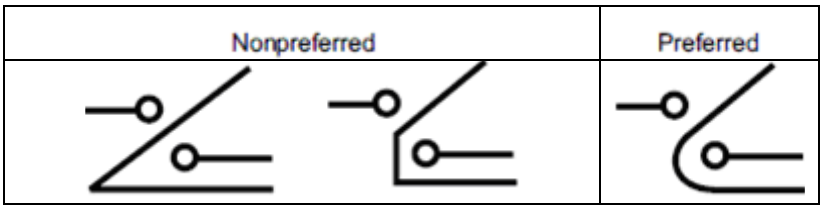
التعليماتَ التاليةَ مُقترحة فيما يتعلق بتوجيه الموصل:

١. في أنماطِ الدائرةِ حيث تتوافر المساحات الفارغة ويُمْكِنُ للموصل بالمرور في أيّ إتّجاه، إلا أنه من الضروريُ الحصول على طول الوصلة البينية الأقصرِ، شكل رقم (٥-٧). وهذا يعتبر ضروري خصوصاً في حالة ألواح الدوائر المطبوعة ذات التردد العالي. وعادة، كقاعدة حسنة يجب بَدْء وإنْهاء الموصل البيني من وإلى وسادة لحام. لكن إذا كانت هذه الممارسةِ تُؤدّي إلى زيادةِ في طول الموصل، فإنه يُمْكِنُنا أيضاً إنهائه بربطه لموصل آخر.



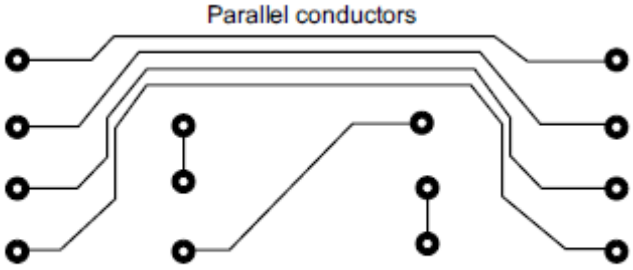
شكل رقم (٥-٧) يوضح اتجاهات توجيه الموصل للحصول على أدنى طول للموصل

٢. الزاوية الأدنى التي عندها يوضع أيّ أثر أو مسار هى الزاوية ٦٠ درجةُ. الزوايا الأقل مِنْ ٦٠ درجة تَخْلقُ حالة أثناء عمليةِ التصنيع يُمْكِنُها أَنْ تَسْمحَ لمحلول النقش بالحفر الزائد داخل الزاويةِ كما يتضح في الشكل رقمِ (٥-٨).



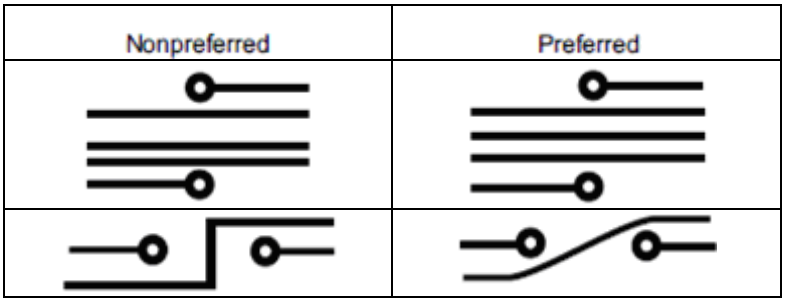
شكل رقم (٥-٨) يوضح اتجاهات توجيه الموصل لتجنب الزوايا الداخلية الحادة

٣. الموصلات المتوازية من المفضل أَنْ تَكُونَ في نفس الزاويةِ الشكل رقم (٥-٩) لضمان الإتساق uniformity. هذا يُزيلُ التغير لمباعدة موصل عن موصل .



شكل رقم (٥-٩) يوضح اتجاهات توجيه الموصل للحصول على النمط المتوازي

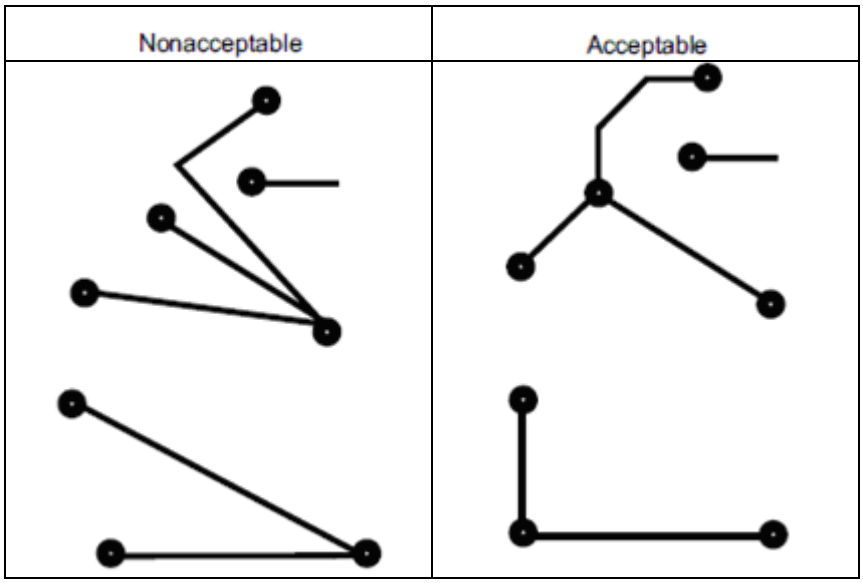
٤. إذا كان من الضروري مرور موصل أو عدة موصلات بين وسائد أَو مناطقِ موصّلةِ أخرى، فإن المباعدة يَجِبُ أَنْ تُوزّعَ على حد سواء. المباعدة المثلي مكتسبةُ إذا كانت الموصلات موضوعة عمودية خلال ممر ضيق. الشكل رقم (٥-١٠) يوضح كَمْ أن الفضاء المتوفر مستعمل بشكل مثالي.



شكل رقم (٥-١٠) يوضح اتجاهات توجيه الموصل لإستخدام الفراغ المتوفر للإمتداد الأمثل

٥. الموصلات المارة المتوازية الصغيرة المسافات البينية (المباعدة) يُمْكِنُ أَنْ تؤدّي إلى مشاكل في التصنيع. ولكي نتفادى هذا، الموصل يَجِبُ أَنْ يَكُونَ منتشر بشكل متسع كلما أمكن ذلك زائداً عن المنطقةِ المتوفرةِ.

٦. توجيه الموصل يَجِبُ أَنْ يَضْمنَ ذلك بأنه ليس هناك انضمام أو تحزيم bunching للممرات غير المرغوبة (الشكل رقم ٥-١١) عند نفس النقطةِ. التوجيه يَجِبُ أَنْ يَتجنّبَ أيضاً تجمع عدد من الموصلات في نفس وسادة اللحامِ.



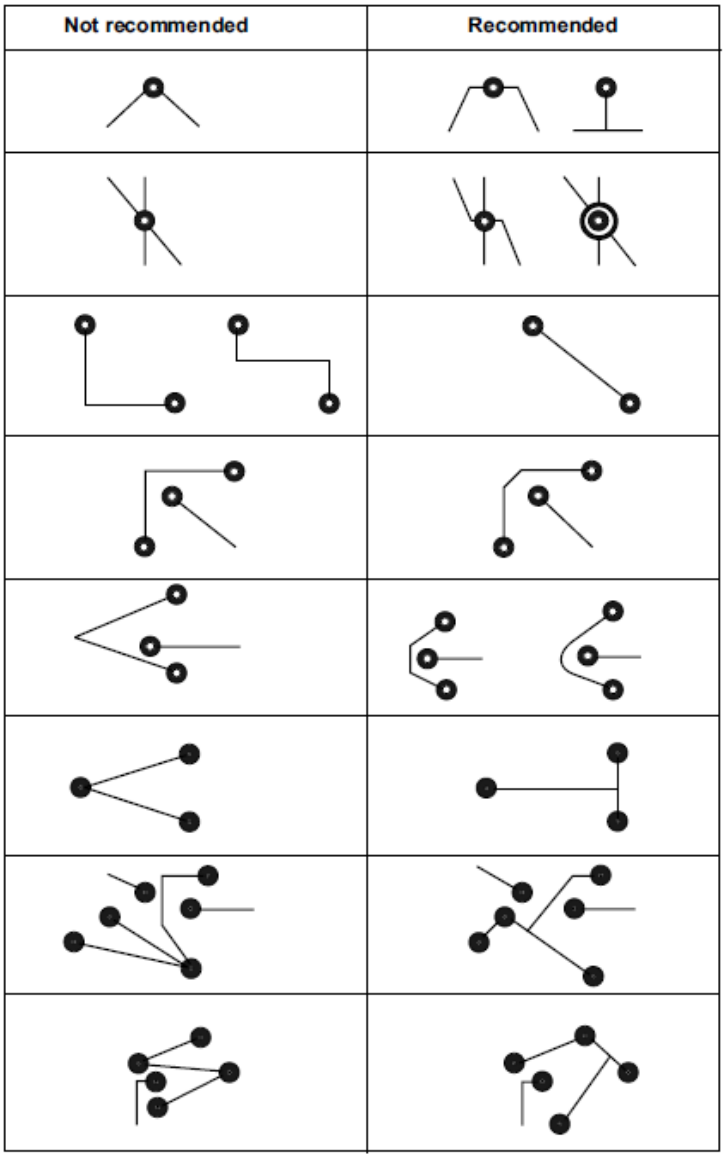
شكل رقم (٥-١١) يوضح اتجاهات توجيه الموصل لعدم قبول التحزيم أو الإنضمام bunching

٧. عموماً، يتم اختيار أبعاد عرض موصل مختلفة طبقاً لسعة تيارِ الحمل المطلوب بواسطة الإشارةِ المعيّنةِ أَو الخَطّ. على أية حال، من المفضّلُ تَبنّي توحيد المقياس، على أن يَبقي أيضاً أبعاد العرض المختلفة للموصلات المستعملة في أيّ شكل عملي عند الحَدّ الأدنى. الأبعاد العرض المختلفة الموصّى بهاَ للموصلات هى:

_ Signals : 0.2 mm to 0.3 mm

_ Power Lines : 0.762 mm to 1.5 mm (depends on current)

_ Ground Lines : 1,0 mm to 2.0 mm (depends on current)



شكل رقم (٥-١٢) يوضح أنماط التوجيه المفضلة للموصلات

٨. عرض موصل الأرضي يَجِبُ دائماً أَنْ يكون أكبر مِنْ أبعاد عرض خطِّ القدرة المختلفة. عرض الموصل يَتم اختَياره عادة بينما يَفترضُ إرتفاعَ درجةِ حرارة الحَدّ الأعلى ٢٠ C°.
٩. يَجِبُ أَنْ تتجنّبَ عملية توجيه الموصل بشكل عام العُبُور بين الوسائد معطياً ثغرات ضيقة بين الوسادة والمسار، ويفضل في هذه الحالة الممر البديل خارجاً. هذا يُقلّلُ الرفض في مرحلةِ التصنيع. الشكل رقم (٥-١٢) يوضح بعض مِنْ التوجيه المُفَضَّلَ للأنماط. الهدف من أيّ طريقة التوجيه هو العمل على تقليل الطولِ الموجه.
١٠. نمط التوجيه من المفضل أَنْ يكون مُوَزَّع على حد سواء بين الطبقاتِ المُخْتَلِفة للوح الدائرة المطبوعة. على سبيل المثال، في لوح الدائرة المطبوعة ثنائية الجانب، يطبق هذا إلى جانب اللحامِ والعنصر. هذا يُساعدُ في عمليةِ التصنيع بطريقة ضمان التصفيح المنتظم في حالة توزيع كثافات التوجيه على حد سواء.

يَذْكُرُ أن الأسبابَ الرئيسيةَ لضوضاءِ النظامِ تَبْدأُ أثناء مرحلة تصميمِ العمل الفني. وبوضع التعليماتِ التاليةِ في الحسبان، من المحتملُ المحافظة على ضوضاء الوصلات البينية للنظامِ عند الحَدّ الأدنى:

١. توجيه شبكاتَ الاشارة الحرجةَ على طبقة الاشارة المشتركة. احفظ أطوال الخط قصيرة بقدر الإمكان. تجنّبْ تَغْيير الطبقاتِ لشبكة وحيدة. مرور الاشارة من طبقة إلى طبقة سَيسبّبُ إنعكاساتَ وممانعة أقل للخَطِّ.
٢. مرور طبقات الاشارة المتجاورة بشكل متعامد (عمودية بشكل متبادل) إلى بعضها البعض.
٣. إعزلْ طبقاتَ الاشارة عنْ بعضها البعض بوَضْع مستويات الأرضِ أَو الجهد بينها.
٤. مرور آثارِ (مسارات) العزل الأرضي بين خطوطِ الاشارة سَيخفّضُ الضوضاءَ لكن أيضاً يخفض بعض الشّيء ممانعة المسار.
٥. مرور خطوط الإشارة المتوازية متباعدة جداً بقدر الإمكان.
٦. زوج الآثار أو المسارات التفاضلي يَجِبُ أَنْ يكون لديه نفس الطولِ.
٧. باعد بين خطوط الإشارةُ على حد سواء في توجيه القنواتِ، احفظ المسافة القصوى مِنْ وسائد المقبس.

٨. أمرر الأثر مباشرة إلى وسادة المقبس بدون تَفَرُّع خَطٍّ. هذه سَيمْنعُ الإنعكاساتَ وتغيرات الممانعة الكهربائيةِ. نقاط المقبس المشتركةِ يُمْكِنُ من ثمّ أن تتم.
٩. استخدم المنحنيات أَو دورتين بزاوية ٤٥ درجة لتَفادي إنعكاساتِ الخَطِّ البسيطةِ minor line reflections .
١٠. قلّلْ نقاط العبور vias أَو الفتحاتِ الخلالية through-holes بقدر الإمكان. كُلّ فتحة خلالية مَطْلية في شبكة سَوف تضاف إلى السعةِ المُوَزَّعةِ للخَطِّ. إذا كانت الفتحاتِ الخلالية مستحيلة التجنب، فإن مقاس تثقيب نقطة العبور يَجِبُ أَنْ يَكُونَ تماماً مثل المقبس؛ هذا سَيخفّضُ تكاليفَ الصناعةِ ويحافظ على نفس نسبة الطول للعرضِ aspect ratio .
١١. تجنّبْ تغير عرضِ الخط خلال حقل دبابيس المقبس، واستعملُ توجيه الأثرِ (المسار) الوحيدِ إذا كان بالإمكان.
١٢. إستعملْ عرض الخط الأوسعَ الممكن لتَخفيض مقاومةِ dc.
١٣. طبقاتِ الاشارة السطحيّةِ هى الأكثر صعوبةً للسَيْطَرَة فيما يتعلق بعرضَ الخط وسمك النحاسَ . فقط الإشارات غير الحرجة يَجِبُ أَنْ تمر علي الجانب الخارجي للطبقاتِ.
١٤. الوسائد مع آثارِ (مسارات) الاشارة المَلْحُومةِ يَجِبُ أَنْ تَكُونَ دمعةَ سَاقِطةَ في ملتقى الوسادةَ.

<u>للمستويات الإسنادية reference planes، يَجبُ أَنْ تتذكّرَ النقاط التالية:</u>

١. حافظ على مستوى أرضي أو جهدي مستمر السطح لطبقاتِ الإشارة المحكومة ممانعتها والمنسوبة إلى هذه الطبقات.
٢. حافظ على مسارات عودة الأرضي ground returns المشتركة مع عائلة المنطقَ.
٣. تُعطي المستويات المتعددة للأرضي والجهد دعم لمعالجة التيار وعودة الارضي ذو المحاثة المنخفضة لتَقليل الإرجاعِ الأرضيِ ground bounce .
٤. استخدم الوسائد ذات قطر الخلوص الأدنى للويبِ النحاسي الأقصى ضمن حقول المقبس.
٥. مستويات الأرضي الكاملة والجهد موضوعة ظهراً بظهر مع أدنى فاصل عازل، يطوّر المكثّف الذي يُساعدُ في تَرشيح ضوضاءِ التردد العالي في تغذية الجهد.
٦. الوسائد المَلْحُومة يَجِبُ أَنْ تُخفّفَ بشكل حراري.

٥-٤ تعليمات انتاج العمل الفني

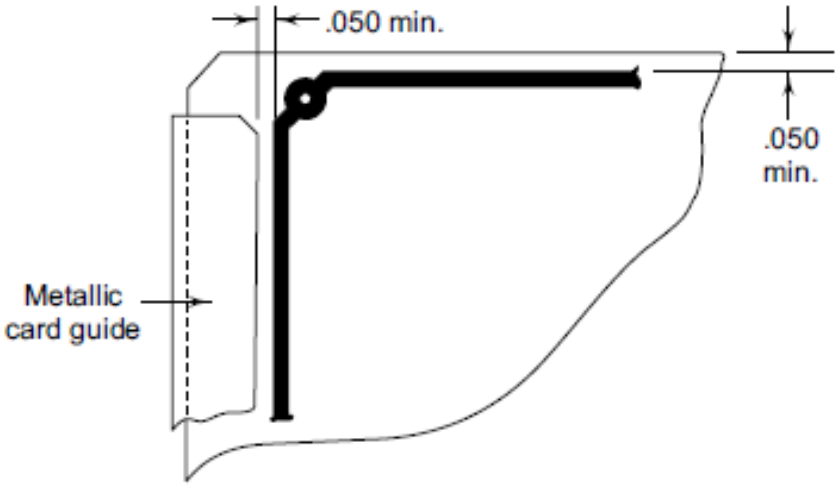
Artwork Generation Guidelines:

٥-٤-١ منطقةَ اللاموصل

No Conductor Zone:

الآثار أو المسارات يَجِبُ أَنْ لا تقترب إلى حافةِ اللوح عند الحد ٠.٥٠ بوصةِ (١٢.٥ مليمتر) في المِقياس ١:١ وإذا كان بالإمكان، يَجِبُ أَنْ يُتْرَكَ على الأقل الحد ٠.١٠ بوصة (٢.٥ مليمتر). هذا يَعطي التَفاوت الضروري المطلوب لقَصّ اللوح إلى المقاس المحدّدِ؛ ما عدا ذلك فإن جزء من أَو كُلّ الأثر يُمْكِنُ أَنْ يُصبحَ مقَصّوص مِنْ أَو يحدث قصر shorted خارج عند التجميع التالي.

إذا استخدمت أدلة بطاقة موصلة معدنية أو بشكل كهربي، من ثمّ فإن الفجوة مِنْ حافةِ دليل البطاقةَ إلى حافةِ الموصل الأقربِ يَجِبُ أَنْ تكُونَ الفجوة الهوائية القياسية المطلوبة التي تساوي ١.٢٥ مليمتراً (٠.٠٥ بوصة أَو أكبر). هذا يُوضح في الشكل رقمِ (٥-١٣).



شكل رقم (٥-١٣) يوضح المباعدة لأدلة البطاقة الموصلة.

٥-٤-٢ فتحة مركز الوسادة

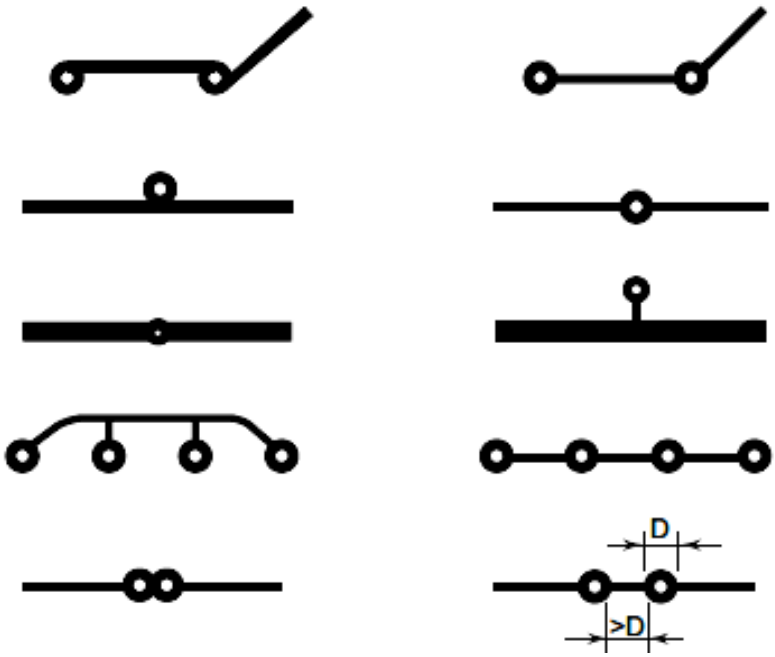
Pad Centre Hole

فتحاتَ مركز الوسادةَ تحفظ خالية دائماً، وبمعنى آخر: لا يَجِبُ أَنْ تكُون مُغَطاة بالأشرطة. هذا يُمْكِنُ فقط أَنْ يمكّنْهم للعمل كعلامات تسجيل وفي تصميمِ العمل الفني وكمساعدة لتحديد المراكز في أعمال التثقيب.

٥-٤-٣ نقاط ربط وسادة اللحام والموصل

:Conductor and Solder Pad Joints

لضمان ثقةِ reliability نقطة ربط اللحام، من المهم أن يكون النمط النحاسي حول الفتحةِ منتظم وصغير بقدر الإمكان لتَحقيق نقطة ربط باللحام متماثلة. يَجِبُ أَنْ لا يحدث التداخل overlap، كبير ولا يحدث فجوة بين الوسادة ووصلة المسار. الشكل رقم (٥-١٤) يوضح أمثلة لَبعْض نقاط اللحامِ السيئ والتحسيناتِ المُقترحةِ.



شكل رقم (٥-١٤) يوضح تعليمات لتصميم نقاط لحام موثوقة

٥-٥ تحضير الفيلمِ الرئيسي

Film Master Preparation:

العناصر والتوصيلات المُخْتَلِفةَ طبقاً لتصميمِ الدائرةِ تتم بالفعل في العمل الفني. يتم إعداد الفيلم الرئيسي Film master مِنْ العمل الفني. وهوعبارة عن فيلم فوتوغرافي وهو نوعان: سالب الفيلم film negative أَو موجب الفيلم film positive شكل رقم (٥-١٥)، المستخدم في النهاية للتعرّضِ المباشرِ للوح الدائرة المطبوعة المغطى بمقاوم الضوء (الحساس) أَو الشاشة الحساسة للضوء.



شكل رقم (٥-١٥) يوضح الفيلم الرئيسي

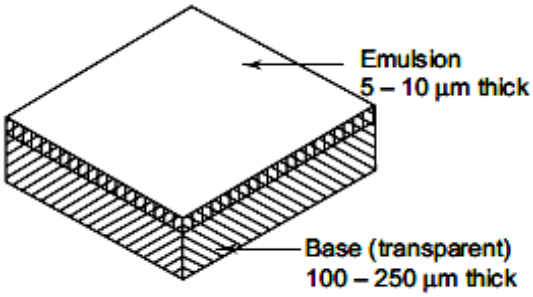
للتأكد من أن ألواح الدوائر المطبوعة عالية الجودة، يجب أن يكون الفيلم الرئيسي له دقة بعدية عالية، وحاد sharpness، و له مقاومة ضد التمزق. أى عيوب بالفيلم الرئيسي سوف تنعكس بشكل مادي في كُلّ لوح دائرة مطبوعة مصنعة به بعد ذلك. عُموماً، الجودة النهائية للفيلم الرئيسي، تعتمدُ على المواد الكيمياويةِ، ومستحلب الفيلم film emulsion ووحداتَ التعرّضِ للضوء exposure units مثل آلاتِ التصوير.

٥-٥-١ الفيلم الفوتوغرافي

Photographic Film:

الفلم الفوتوغرافي يَشْملُ طبقتين أساساً:

المستحلب emulsion والقاعدة base (الشكل رقم ٥-١٦). المستحلب لَهُ سُمكُ تقريبيُ ٥-١٠ ميكرون ومسؤولُ عن الخصائص الفوتوغرافيةِ للفيلمِ. عندما لا يتعرض للضوء، لَهُ هاليدات الفضةُ الحسّاسةُ للضوء حيث تكون مستقرة في الهاليد أو في شكل معلق صناعي.



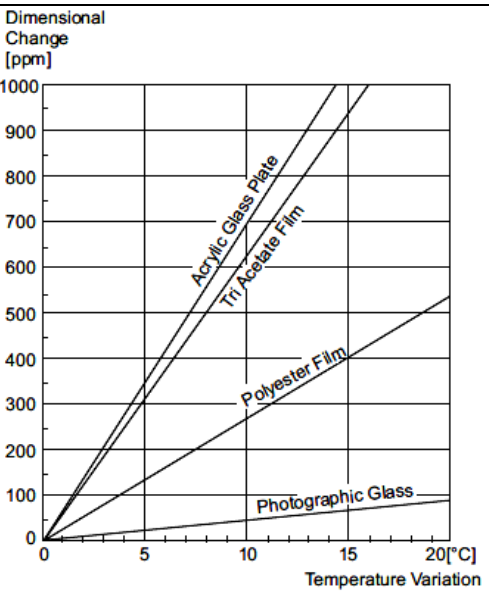
شكل رقم (٥-١٦) يوضح مكونات الفيلم الفوتوغرافي

مادّة القاعدةِ يُمكنُ أَنْ تَكُونَ ملح حامض الخليكَ acetate، أو البولستر polyester أَو الزجاج glass ولَها سُمكُ يساوي ١٠٠-٢٥٠ ميكرون. الإستقرار البعدي للفيلمِ يُقرّرُ أولياً بواسطة مادّةِ القاعدة. وتتوفر الأفلامَ الفوتوغرافيةَ في صورة لفّاتِ rolls أو شرائح sheets أو أشرطةِ strips أَو بطاقاتِ cards، مثبتة أَو غير مثبتة بدون تقييدِ بعديٍ.

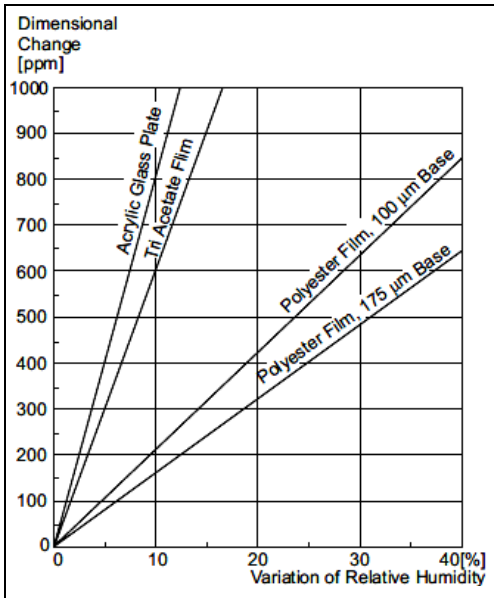
الأفلام المؤسسة على البوليستر Polyester-based films تستعملُ بشكل شعبي في تكنولوجيا ألواح الدوائر المطبوعة بينما تعرض أفضل مساومةِ بين الإستقرارِ البعدي والراحة في تناولها ومعالجتها. للإستقرار البعدي الأعلى، مثل ما هو مطلوب في تطبيقاتِ عِلْم الألكترونيات الدقيقةِ، نجد أن الفيلم المؤسس على الزجاج هو المستعملُ. إذا لم يكن الإستقرارِ البعديٍ مصدر قلق كبير، فإن الفيلم المؤسس على ملح حامض الخليك يُمْكِنُ أَنْ يُستَخدمَ.

يَتفاوتُ الإستقرارُ البعديُ للأفلام الرئيسية بتغير درجةِ الحرارة، والتغيّرُ في الرطوبة النسبية، وتأثيرات المعالجة، والعمر ويعبر عن التغييرات البعدية عادة بالوحدات ppm (جزء في المليون). الشكل رقم (٥-١٧) يوضح التغييراتَ البعدية الحادثة نتيجة إختلافِ درجةِ حرارة بينما الشكل رقم (٥-١٨) يَعطي قِيَمَ مثاليةَ للتغييراتِ البعديةِ الناتجة من التغيّرُ في الرطوبة النسبية.

محتوى رطوبةِ بنسبة ٦٠ بالمائة وأكثر يعمل على تحطّيمُ الصورةَ. إذا كانت الرطوبة النسبيةِ تحت النسبة ٣٠ بالمائة، فإنها تؤثّرُ على هشاشةِ المستحلبَ. لِذلك، فإن المستوى الامثل للرطوبةِ يساوي تقريباً ٣٠ إلى٤٠ بالمائة في الهواءِ المحيطِ. الجدول رقم (٥-٢) يَعطي القِيَمَ الموصّى بهاَ لمدى الرطوبة النسبيةِ لأنواع مختلفة مِنْ الأفلامِ.



شكل رقم (٥-١٧) يوضح التغير البعدي في الفيلم نتيجة لتغير الحرارة.



شكل رقم (٥-١٨) يوضح القيم النموذجية للتغيرات البعدية المتسببة بواسطة التغير في الرطوبة النسبية.

جدول رقم (٥-٢) يوضح مدى الرطوبة النسبية الموصي بها لأنواع الافلام المختلفة

Sensitive layer	Base type	Recommended relative humidity range (per cent)
Microfilm		
Silver-gelatin	Cellulose ester	15 to 40
Silver-gelatin	Polyethylene terepthalate	30 to 40
General		
Silver-gelatin	Cellulose ester	15 to 50
Silver-gelatin	Polyethylene terepthalate	30 to 50
Colour	Cellulose ester	15 to 30
Colour	Polyethylene terepthalate	25 to 30
Diazo	Cellulose ester polyethylene	15 to 30
Vesicular	Ethylene terepthalate	15 to 50

العمل الفني الرئيسي master artwork لا يُمْكن أنْ يُستَعملَ مباشرة في عمليات نقل صورةِ لوح الدائرة المطبوعة كالأعمال الفنية التي تعد عادة إلى مِقياسِ مكبّرٍ مثل ٢:١ أو ٤:١. ومن ثم، يجب أن تكون وحدة التعرّضَ قادرة على تَحويله (تصغيره) إلى مقاسه الفعلي.

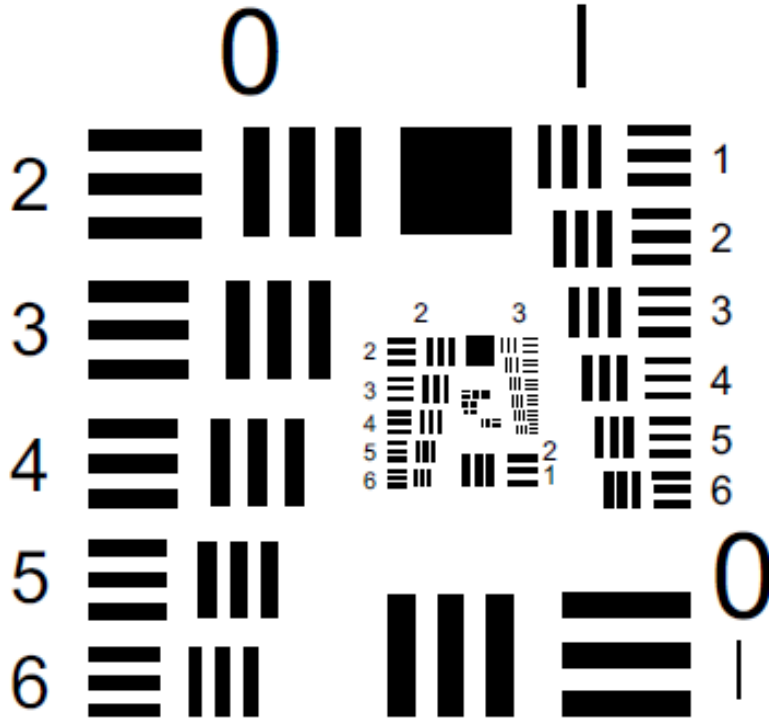
الفيلم المعاد انتاجه reproduction film يستخدم للحُصُول على الأداة الفوتوغرافية السالبة أو الموجبة مِنْ العمل الفني، مَع أو بدون التخفيضِ الفوتوغرافي خلال تعرّضِ آلةِ التصوير ويصبح متوفرُ بقاعدة ملحية سميكة من ٤ إلى ٨ ميكرونِ وأيضاً في بقاعدةِ ملحية رقيقةِ.

يُستَعملُ نَسْخ الفيلم Duplicating film للحُصُول على أمّا سلبي مِنْ سلبي آخرِ أو للحُصُول على إيجابي مِنْ رئيسي إيجابي. الصورةَ المنتقلة تكون بواسطة التعرّضِ بالتماس contact exposure أو بواسطة تعرّضِ آلةِ التصوير بدون تصغير.

الفيلم Diazo كليّاً مختلف عن أفلامِ الجيلاتينِ الفضّيةِ silver gelatine films . هو رديء مع الضوءِ الفوق بنفسجي لكنه شفّاف مع الضوءِ الطبيعي بعد التعرّضِ ويحمض. هذا لا يتطلّبُ غرفة مُظلمة للتَعْرِيض. لتعريض الأفلام للضوء يتم استعمال آلة التصوير أو وحدات التعرّضِ بالتماس. هذا الفيلمِ محمض بواسطة عُبُوره خلال بخار الأمّونيا vapour of ammonia . وهو لَيسَ بِحاجةٍ إلى أيّ حمّام كيميائي للتحميض أو الاظهار والفيلم يُجفّفُ بسرعة جداً.

الإستقرارَ البعديَ لفيلمِ diazo هو نفسه الاستقرار البعدي لأفلامِ الجيلاتينِ الفضّيةِ. وهو متوفر في الشكلِ العنبريِ الشفّافِ أَو الأحمر الغامقِ في اللونِ مع قاعدةٍ ملحية (إستر) سميكة أَو رقيقة. نتيجة لشفافيتِه والرؤيةِ الطبيعيةِ من خلاله، فإن التسجيل الدقيق للفتحاتِ والوسائد يُمْكِنُ أَنْ تكون مؤكدة في تسجيل الفيلمِ.

قدرة التحليل resolving power للمادّةِ الفوتوغرافيةِ هو قدرتُها للإبقاء في الصورة المحمضة على التعريف المنفصل للقضبان المتوازية حيث تكون قريبة جداً معاً ويعبر عنها كخطوط لكل ملليمتر. أي نمط إختبارِ مثاليٍ لإختِبار قدرة التحليل معطى في الشكل رقمُ (٥-١٩).



شكل رقم (٥-١٩) يوضح نمط اختبار نموذجي لقياس قدرة التحليل للفيلم الفوتوغرافي.

إختلاف درجةِ الحرارة في البيئة المحيطةِ أَو منطقةِ الخزنَ تؤثر على الاستقرار البعدي للفيلمِ. إذا كان الفيلم مَخْزُونِ عند درجة حرارة أعلى من ٤٠ C° لمدة طويلة، فإنه سوف يُخفّضُ الصورةَ

المنتجة علي الفيلم. مدى درجةَ الحرارة المقبولَ للخزنِ يقع تقريباً في المدى من ١٥ إلى ٢٠ C°. ويجدر بالذكر أن التعرّض لأشعة الشمس مباشرة سَيُؤدّي إلى طباعة ضوئية مصنّعة بشكل سيئ. حيث يُؤدّي هذا إلى تشكيلِ اللطخاتِ وقَدْ يَبْهتُ الفيلمِ. ويوصي بمصابيح التنجستن والمصابيح الفلورسنت الخالية من الاشعة الفوق بنفسجية للفحصِ الدوريِ للفيلم.

تتفاعل الشوائبُ الغازيةُ مثل أكسيدِ النتروجينِ وثاني أوكسيدِ الكبريتِ وكبريتيدِ الهيدروجينِ والأوزونِ تتفاعل مَع الفضة الموجودة في المستحلبِ حيث تؤدّي إلى الصورِ البْاهُتةِ، التي تَمِيلُ إلى تَحليل المادّةِ الأساسيةِ أيضاً. لِذلك يجب أن يخزن الفيلم بعيداً عن هذه الشوائبِ.

معالجة الأفلامِ مهم جداً كتناول الافلام بطريقة غير مناسبة فإن هذا يؤدي إلى تدمير مستحلب الفيلمَ. ترتيب خزن الافلام والنظافة مهمة جداً. يَجبُ أَنْ تُحْمَلَ الأفلام من حوافها فقط. ويفضل قفازات قطنِية لتداولها.

٥-٥-٢ التعرّض للضوء خلال آلةِ التصوير

Exposure through Camera:

تستخدم آلةَ التصوير لتَعْرِيض الأفلامِ الفوتوغرافيةِ للضوء، لإنْجاز عملية فصلِ الألوان وتخفيض (تصغير) التَصوير. لذا فإن آلة التصوير يَجِبُ أَنْ يكونَ لديها وحداتُ مصباح كاشفِ flashlight، وأنظمة عدسات تصغير، ونظام فراغِي كمرشحات اللون أيضاً.

يجب أن تثبت آلة التصوير على دعائم خالية من الإهتزاز في غرفة المعالجة أَو الغرفة المُظلمةِ dark room . تكوين الصورة على الفيلمِ الفوتوغرافي يَعتمدُ على قدرة تحليل عدسات آلةِ التصوير وشدة الضوء. يَعتمدُ وقتُ التعرّضَ على مصدرِ الضوء. الجدول رقم (٥-٣) يَعطي الوقتَ المطلوب لإعادةِ إنتاج reproduction عملِ الخَطِّ سوياً مع متطلباتِ التعرّضِ.

جدول رقم (٥-٣) يوضح أمثلة من آلة التصوير والتعرض بالتماس

Light Source	Lighting	Time for 1:1 Reproduction of Line Work
Camera exposures		
Pulsed-xenon	Two 1500 watt lamps at 3ft.	10 seconds or more
White flame carbon arcs	Four 30 amp. Arcs at 4ft.	20 seconds or more
Tungsten/Tungsten Halogen	Four 750 watt lamps at 4ft.	28 seconds or more
Contact Exposure		
Tungsten	6 volt, 30 watt point source lamp at 6ft	12 seconds or more

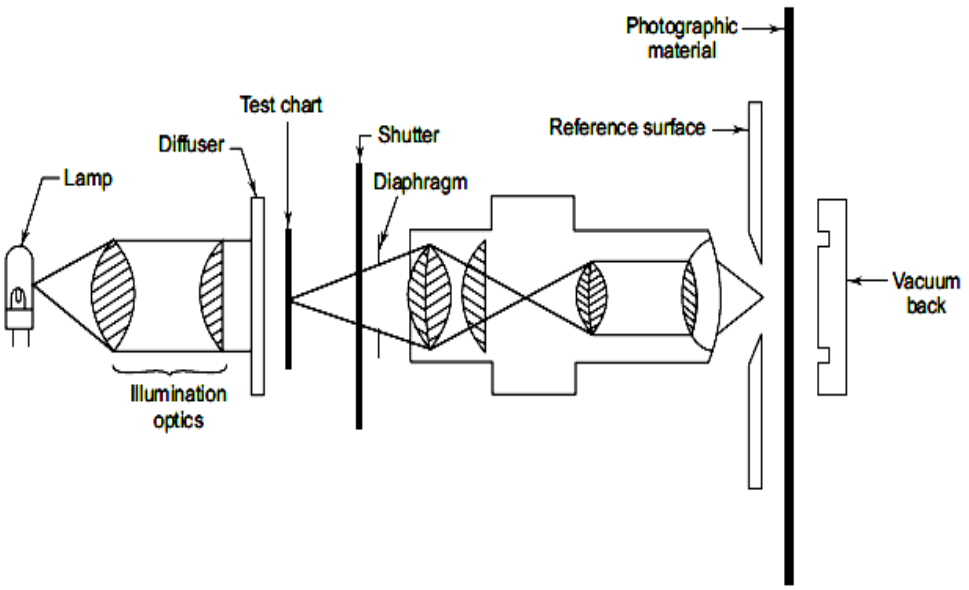
يشير الجدول أعلاه إلى وقتِ التعرّضَ لأفلامِ lith ortho films type-3 للفيلم المعاد إنتاجه. المسافة المبينة في الجدول هى المسافةُ بين مصدرِ الضوء والعمل الفني.

يوجد نوعان من آلات التصوير هما:

١. آلة تصوير تصغير عموديةِ، و
٢. آلة تصوير تصغير أفقيةِ.

مبدأ تشغيل آلةِ التصوير الموضحة في الشكل رقم (٥-٢٠). تسمح آلة التصوير الأفقية بشكل أساسي بعمل فني أكبرِ ومقاسات افلام أكبر، بينما آلة التصوير العمودية تَحتاجُ إلى فراغ أرضيةَ أقلَ نِسْبياً، لكن مقاس لوحةِ النسخةَ تكون محدودة لتَمْكين الشخص الواقف العادي لتَشْغيل آلةِ التصوير بشكل ملائم. عادة ، نسبة التصغير القصوى هى أربعة ومقاس لوح النسخ المفيدِ هو ٤٥ × ٦٠ سنتيمتر مطلوب في تكنولوجيا لوح الدائرة المطبوعة.

آلات التصوير يَجِبُ أَنْ يكونَ لديها تحكم دقيق في زمن التعرّضِ، مع بؤرةِ سهلة الوصولِ بشكل ملائم والتحكم الفعّال. يَجِبُ أَنْ يكونَ لدي آلات التصوير نوعُ من العدسات مسطح المجال، وخال مِنْ الإنحرافِ الكروي ، ومصححة الألوان colour corrected ويَعطي بشكل محتمل صورة خالية مِنْ تشويه.

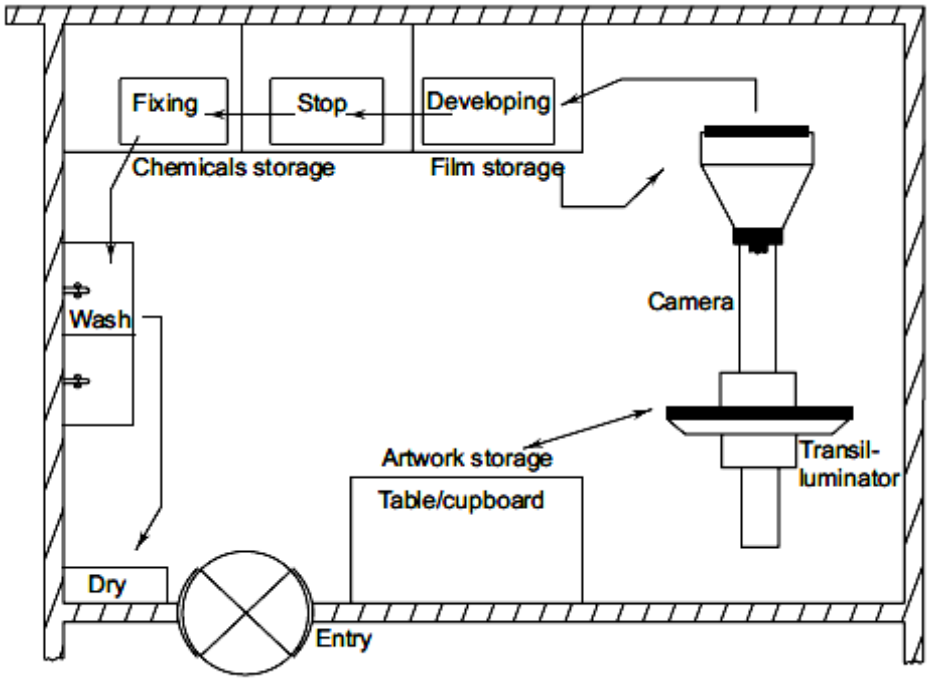


شكل رقم (٥-٢٠) يوضح مبدأ تشغيل آلةِ التصوير

٥-٥-٣ الغرفة المُظلمة

Dark Room:

معالجة الفيلمِ تتطلّبُ غرفة مُظلمة. كُلّ الأفلام الفوتوغرافية حسّاسة للضوء ولِذلك فإن غرفة الإظلامَ dark room يَجِبُ أَنْ تَكُونَ مقاومة للضوء ومكيفة الهواء. للتأكد من أن متطلباتَ الإستقرارِ البعدي للفيلمِ محققة، يجب الحفاظ على درجة الحرارة والرطوبة داخل الغرفة المُظلمةِ ثابتة ضمن الحدودِ الجائزةِ (المسموح بها) مع الإضاءة الآمنةِ. عموماً، درجة حرارة الغرفة المُظلمةِ يجب أن تكون مثبتة عند ٢٠ ° ± ٢ C° والرطوبة النسبية حوالي ٥٥ % ± ٥%. أي ضغط زائد طفيف للهواء الجوّي داخل الغرفة المُظلمةِ يمْنعُ الغبار من الدُخُول خلال الأبوابِ والنوافذِ. يَجِبُ أَنْ نتفادى حدوث الإهتزازاتِ في وحول الغرفة المُظلمةِ وهذا حق يجب الالتزام به في مرحلة تخطيط بنايةِ الغرفة المظلمة.



شكل رقم (٥-٢١) يوضح تخطيط غرفة مظلمة نموذجية

يَجِبُ أَنْ يكونَ لدي الغرف المُظلمة بندُ منفصلُ لخزنِ الأفلامِ والمواد الكيمياويةِ. غرفة المعالجة ووحدة مجففِ الفيلمَ يَجِبُ أَنْ يَكُونا مجهزين بوسائلِ الماء الجاري. ومن المفضّلُ أن يكون لديهما حوضين تصريف مع الماء الجاري، إحداهما لشَطْف الفيلمِ والآخر لغسيل الأيدي،.. الخ. الشكل رقمِ (٥-٢١) يوضح تخطيطَ لغرفة مُظلمة مثالية.

غرفة معالجة الفيلمِ يَجِبُ أَنْ تُنارَ بالضوءِ الآمنِ مع مرشِحِ. يعتمد نوع الضوءِ الآمنِ على نوعِ الفيلمِ المستعمل. الضوء الآمن يَجِبُ أَنْ لا يُحس به مستحلبَ الفيلمَ. عادة، تستخدم مصابيح الضوء الأصفر، أوالضوء البرتقالي أَو الضوء الأحمر بقدرة تساوي ١٥ وات. ويجب أنْ تثبت على الأقل على بعد ١٢٠ سنتيمترَ عن منطقة معالجة الفيلمِ.

تتكون الأفلامُ الفوتوغرافيةُ أساساً مِنْ طبقتين من المستحلبِ والقاعدةِ. المستحلب عبارة عن هاليد الفضـة الحسّـاس للضـوء. المـواد الكيمياويـةَ الحسّاسـةَ للضـوء يـتم اختزالهـا reduced أَو أكسـدتها بواسطة الضـوء بطـول مـوجي مِنْ ٣٦٠ نـانومتر إلـى ٦٨٠ نـانومتر سـاقطاً علـى السـطحِ. منطقـةِ الطولِ الموجي هذه تُقرّرُ حسّاسية الفيلمِ الفوتوغرافي. في المنطقةِ المرئيةِ للضوء، الأطياف الحمراء والبرتقاليـة والصـفراء تَعمَلُ بـدون تـأثير علـى مسـتحلبِ الفيلمَ. لـذا، فـإن هـذا الضـوء الملـوّن يكـون مستعمل كضوء آمن في الغرفة المظلمة.

هناك بَعْض الموادِ المفيدةِ نحتاجها في عملِ الغرفة المُظلمةَ:

- صواني مناسبةِ المقاسات للتحميض أو الاظهار، حمّام التوقّفِ stop bath وحمام التثبيت fixing — وهما يمكن أَنْ يكونا مِنْ البلاستيكِ أَو الحديد المقاوم للصدأ؛
- ملقاط فيلمِ لتداول الفيلمِ أثناء المعالجة؛
- مقياس حرارة للحمّامِ؛
- ساعة انذار للغرفة المُظلمة؛
- ثلاجة لخزنِ الفيلمِ الغير مستعملِ؛ و
- فراغ لتخزين العمل الفني.

٥-٥-٤ تحميض أو إظهار الفيلم

Film Development:

حيث أن الأفلامِ متأثّرة بأيّ مصدر ضوء طبيعي أَو لامع، فإن المعالجة للفيلم يَجِبُ أَنْ تُنفّذَ فقط في الغرفة المُظلمةِ، التي تنار بالمصباحِ الآمنِ بإضاءة ذات كثافةِ منخفضةِ.

يوضـع العمـل الفنـي علـى لـوح النسـخةِ المضـاءة الانتقاليـة لآلـةِ التصـوير. يـتم ضـبط آلـةَ التصـوير للحُصُـول علـى صـورة حـادة خاليـة مِـنْ التشـويه للعمـل الفنـي بمقيـاس ١:١. إذا كـان العمـل الفنـي بأشرطة ملونة (على سبيل المثال، إستعمال الطريقةِ الحمراءِ والزرقاءِ)، فإنه يستخدم مرشحات ألوان لفَصْل الطبقتين. الفيلمَ الفوتوغرافيَ مُفَهرَسُ على مستوى فيلمَ آلـةِ التصـوير ويثبت تحت الفراغِ. ثمّ

يعرّضَ الفيلم للوقتِ المطلوبِ بالاعتماد على نوعِ الفيلمِ المستعمل. يُزالُ ويحمض الفيلمَ الفوتوغرافيَ المعرض للضوء بواسطة الخطواتِ التالية:

- يتأثر بروميد الفضّة في الجيلاتينِ بالإشعاعِ الضوئي، حيث ينتجُ الفضةَ المعدنيةَ وآيون البروميدِ الذي سَيُذوّبُ في المثبّتِ.

$$Ag\,Br = Ag^{+} + Br^{-}$$

- بعد التَعْرِيض، يغطس الفيلم في محلول معاملات الإختزال المعتدلةِmild reducing agents مثل مخلوط حامض البيروجاليك pyrogallic المسمى developer (محلول التحميض أو الاظهار). الأجزاء المعرضة للإضَاْءة تختزل إلى الفضة المعدنية بسهولة أكثر مِنْ الأجزاءِ الغير معرضة.

- بعد التحميض (الاظهار)، الحبيبات الغير معرضة تصبح مُذَوَّبة في حمّامِ التَثبيت fixing bath الذي يَحتوي مخلوط الثيوكبريتات Thiosulphate. الجزءُ اللامعُ للجسمِ يحمض أو يتم إظهاره بُقَعَ مُظلمةَ على الفيلمِ ويصبح الفيلم فيلم سلبي. ثمّ يتم غسل الفيلم بماء مقطر خالي من الجسيمات الصلبة أَو الماء المعاد تأيينه deionized ويجفّفَ بإستعمال مجفف فيلمِ.

Developer = Stopper = Fixer = Washing = Drying

<u>حمام الإظهار (التحميض) Developer Bath:</u>

محلول الاظهار هو عبارة عن خَلِيْط من المواد الكيمياويةِ، مذوّبَ في ماء مُقَطَّر أَو ماءِ معاد تأيينه. يَجِبُ أَنْ يَكُونَ محلول الاظهار (مواد كيمياوية) المستعمل، نوع موصي به مِن قِبل منتجِ الفيلمَ لفيلمِ معيّنِ مستعمل. يَعتمدُ زمن التحميض (الإظهار) على تركيزِ المواد الكيمياويةِ ودرجة هياجِ الحمّامِ. على أية حال، من المُسْتَحسن الدُخُول لزمن التحميض الموصّى بهِ في البِداية وتعدّيلُه فقط بعد التجربةِ الكافيةِ.

حمّام الايقاف Stopper Bath:

إنّ وظيفةَ حمّامِ الايقاف Stopper Bath هى التوقف الفعال لفعل التحميض. بعد أن يصبح التحميض زائداً، يرفع الفيلم أعلى صينيةِ التحميض لفترة قصوى مِنْ ٣ ثواني. حيث يُمكّنُ محلول الاظهار الفائض من السُقُوط، ويتبع بعد ذلك بعملية الغمرِ في حمّامِ الايقاف.

يتم تغطيس الفيلم لمدة ٣٠ ثانية تقريباً في حمّامِ الإيقاف، المكون من حامضِ الخليك المخفّفِ dilute acetic acid المحفوظ في درجة حرارة ٢٠ ± ٢ C°. يَحتاجُ حمّامُ الايقاف أيضاً رج أو تهييج معتدلَ .

حمّامِ التثبيت Fixing Bath:

لتَثبيت المستحلبِ بشكل صحيح، يتم تغطيس الفيلم في حمّامِ التَثبيت. المواد الكيمياوية التالية مستعملة في حمّامِ التَثبيت:

a) ثيوكبريتات thiosulphate، لامائي؛
b) ميتاكبريتات metasulphate، لامائي؛
c) حامض البوريك Boric acid (بلورات)؛
d) ملح حامض الخليك صوديومِ Sodium acetate ، لامائي؛
e) كبريتات بوتاسيومِ الألمنيومِ (شبّ)؛ و
f) ماء مقطر.

درجة حرارة الحمّامِ يَجِبُ أَنْ تُبقي عند درجة حرارة ٢٠ ± ٢ C°. يَعتمدُ وقتُ التَثبيت على تركيز ودرجة هياج الحمّامِ. الضوء الطبيعي في الغرفة المُظلمةِ قَدْ يشغّلُ بعد إختفاء المستحلبِ الحليبيِ.

الغسيل والتَجفيف Washing and Drying:

بعد أن يتم التَثبيت، يتم غسل الفيلم في الماء الجاري عند درجة حرارة ٢٠ ± ٢ C° حتى تذوب كُلّ المواد الصلبة المعلّقة. من المفضل أن يتم تجفيف الفيلمَ في درجةِ حرارة الغرفة ويظل حوالي ساعةَ

واحدة للتَجفيف. إستعمال مرشِحِ ماءٍ بمسامية مِنْ ٥٠ ميكرون مع ماء الحنفية موصي بها لتَجَنُّب تدمير الفيلم بفعل المواد الصلبةِ التي قَدْ تَكُون موجودة في ماءِ الحنفيةَ.

٥-٣ التوليد الآلي للعمل الفني

Automated Artwork Generation:

شكّلتْ التحديات بالتكنولوجيات الحديثةِ والتعقيدِ الناتجِ لشبكات التوصيل البيني interconnection networks مصدر دفع لإستعمال الحاسب كأداةَ تصميمِ مفضلة. ويجدر بالذكر أن أنظمة تصميمِ لوح الدائرة المطبوعة المعتمدة على الحاسب سهّلْت انتاج العمل الفني artwork المطلوبِ والتوثيق لصناع لوح الدائرة المطبوعة مثل مجموعة الأفلامِ الرئيسيةِ master films التي تُمثّلُ التوصيلية للدائرةَ؛ ومعلوماتِ التثقيب التي تعطي الأنواع المختلفة من مقاسات التثقيب المستعملة في لوح الدائرة المطبوعة، وأفلام قناع اللحام solder mask والأفلام الرئيسية لعلام العنصر التي هى من متطلبات المعيار المعاصر.

تعتبر عمليةَ التصميمِ المعتمدة على الحاسبِ أسرع وأدق الطرق الحديثة من العمليةِ اليدويةِ. وهى تعطي مرونةُ أيضاً ضروريةُ في مرحلةِ تطويرَ المُنتَجِ عندما يصبح التغيير في لوح الدائرة المطبوعة أحياناً متكرّر الحدوث في الدائرةِ حتى تصل لمنتج مستقر.

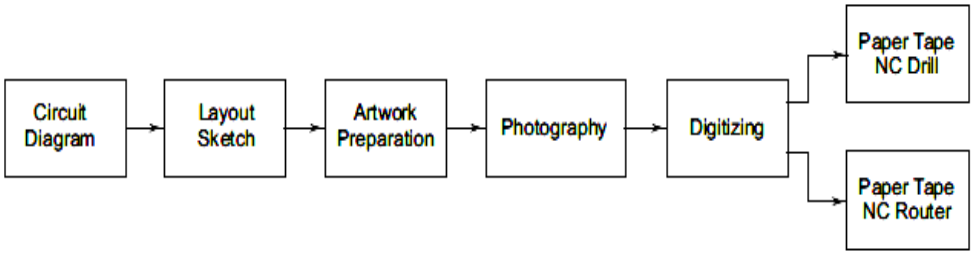
إذا قمنا بالتحليل الزمني لتصميمِ الشكل العملي layout اليدويِ وإعدادِ العمل الفني artwork، فإن الزمن الكليّ المستهلك لهاتين العمليتين يمثل بشكل نموذجي ٤٠ بالمائة من تصميمِ الشكل العملي layout؛ بينما يستهلك ٦٠ بالمائة لتحضيرِ أو إعداد العمل الفني. ولذا، كان من الطبيعي ان تكون الخطوة الأولى في الأتمتةِ هو إزالة التحضيرِ أو الاعداد اليدوي للعمل الفني. وكان من المهم تخطيطَ الشكل العملي الذي يُحوّلُ إلى أرقام ومعلوماتَ مغذاة إلى الرسام plotter الذي ينتجُ مباشرة العمل الفني بنسبة ١:١ على فيلمِ. والخطوة التالية في الأتمتةِ هى إستعمال تصميمَ الشكل العملي بمساعدة الحاسب الذي ربما مازال يَحتاجُ التدخّلَ النشطَ من المصممِ. الخطوةَ الأخيرةَ في الأتمتةِ هى جْعلَ تصميمَ الشكل العملي layout آليَ بشكل كامل ومستقلَ عن أيّ تدخّل رئيسي مِنْ المصممِ. وقد أدى توفر الحاسبات الشخصية العالية الأداءِ اليوم إلى تغيير السيناريو بشدّة. هناك

برامجُ تصميمِ لوح الدائرة المطبوعة رخيصة الثمن جعلت الطرق اليدوية لإنتاج العمل الفني مهملة أو عفا عليها الدهر تقريباً.

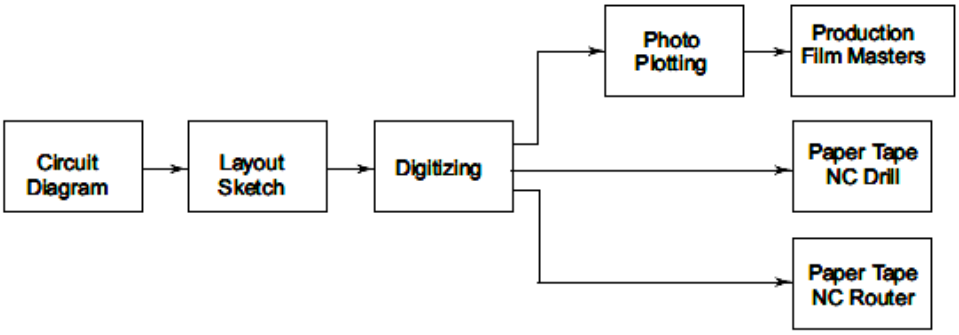
عندما تكون وسائل العمل الفني الآليةِ مستعملة، يكون هناك تخفيض هامّ في الدورةِ الزمنية حول تصميمِ لوح الدائرة المطبوعة. وكما سبق الايضاح بأن خطوةَ تحضيرِ العمل الفني تمت ازالتها واستبدالها بواسطة الطريقة الأسرع إلى حدٍّ كبير لتَحويل نمطِ الدائرةَ إلى أرقام (رقمنة digitizing). في الأنظمة المبكرة، استعملت وحدة الرقمنة digitizer لإعطاء الشريطَ الورقيَ أَو البطاقاتَ المثقبةَ (الشكل رقم ٥-٢٢) إلى رسام ضوئي photoplotter بالإضافة إلى الاشرطة الورقيةِ المطلوبة للتثقيب المحكوم عددياً والتوجيه المحكوم عددياً (ومعنى NC هو محكوم عددياً). وحدة الرقمنة (التحويل الرقمي) digitizer عادة تتكون من وحدة رقمنة مشغّلة بمؤشّر cursor-operated digitizer، ولوحة مفاتيح تحكم control console، ونظام تخزين قرصي disc storage system ورسام قلمي سريع fast pen plotter، حيث جميعها مُرتَبَط إلى الحاسب. التَحويل إلى أرقام (الرقمنة Digitizing) عبارة عن تحويلِ الرسم البياني إلى الحالة الرقمية لكُلّ المعلومات ذات العلاقة المدموجة في تخطيطِ الشكل العملي مثل موقعِ العنصر، مقاس وسادةِ اللحامِ، ترتيب الموصل، .. الخ.

بالمؤشّر المحمول يدوياً hand-held cursor، كُلّ المواقع ذات العلاقة على تخطيطِ الشكل العملي يمكنها أن تَحسُّ بينما المؤشّر يتحرك معطية قرار في اتجاه المحور y/x لقطار النبضات. قطار النبضات هذا مَخْزُون في نظام خزنِ storage system. يُمْكِنُ أَنْ تدْخَلَ معلومات إضافية عن أقطارِ الفتحات، وأبعاد عرض الموصلات المختلفة، .. الخ عن طريق لوحة المفاتيح على لوح مفاتيح التحكم. الشكل رقم (٥-٢٣) موضحاً طريقةَ توليد عمل فني آلي.

قطارات النبضات مِنْ وحدة الرقمنة digitizer تخْزنُ بشكل مؤقت في نظامِ الخزنَ بالحاسبِ. ومن ثم تعالج البيانات بالحاسبِ في حالة "النمط خارج الخط OFF-line mode". يكون الناتجَ عادة على الشريطِ الورقي كما هو مطلوب للرسام الضوئي photoplotter وأجهزة توجيه محكومة عددياً NC. أدوات التصميمِ لتصميم لوح الدائرة المطبوعة عالية الأداءِ وللتحكم في عمليةِ التصميمَ موضحة بواسطة إسحاق (١٩٩٥).



شكل رقم (٥-٢٢) عمليات تخطيط الشكل العملي وانتاج العمل الفني: انتاج العمل الفني يدوي



شكل رقم (٥-٢٣) عمليات تخطيط الشكل العملي وانتاج العمل الفني:انتاج العمل الفني آلي

مقدرة التحليل resolution capability لوحدة الرقمنة digitizers في الغالب في المدى ٠.٠٢٥ -٠.١ مليمتر. الدقة الموضعية المُطلقة تَتفاوتُ بين ٠.٠٧٥ -٠.٢٥ مليمتر.

٥-٤ التصميم بمساعدة الحاسبُ

Computer- Aided Design (CAD):

يُزوّدُ التصميم بمساعدة الحاسبُ بوّصلةً مواجهة interface بين مصممِ لوح الدائرة المطبوع والحاسب. مجموعة من طرفية بيانية (وحدة عرضِ فيديو)، وأداة دخل ولوحة مفاتيح وظيفية تعطي المصممُ لوحةَ رسم آليةَ، حيث تَجْلبُ تحسين هامّ في معدل الإنتاج. في السَنَوات الأخيرة، كَانَ هناك نمو هائل في توفرِ البرامجِ لتصميم البطاقات الإلكترونيةِ المطبوعةِ.

كَانتْ البرامجِ المبكّرةِ عبارة عن وحدات تحرير هندسية geometric editors بسيطة تَسْمح فقط لتنسيبِ placement وتوجيه routing المساراتِ tracks. على أية حال، فقد كانت تفاعلية وبالتالي سهلة الازالة، والازاحة والمضاعفة للعناصر وكتل مجموعات الدوائر. كَانت لديها بَعْض التقييداتِ الحادّةِ بينما لا تسْمُح لشبكات الرسم grids ما عدا ١٠٠ mil أَو عناصر على كلا الجانبينِ للوح. مع التَطَوّراتِ في البرامجِ، نجد أن إدخال الشكل التخطيطي schematic كان مضاف إلى المحرّرِ الهندسي، الذي بدوره، سَمحَ للتوجيه الآلي. اليوم، أصبح التنسيب والتوجيه الآلي ممكن، بينما تَحتوي مكتبةَ البرامجَ الآن لَيس فقط على طبعات القدم footprints المعيارية للعناصر الفرديةِ والدوائر المتكاملة، لكن أيضاً البياناتَ الكهربائيةَ الكاملةَ على خطوط المُنتَجِ القياسي (مثل أغلفة تكنولوجيات التصنيع TTL وCMOS للدوائر المتكاملة)، لكي يمكن افتراض محاكاة بسهولة على الدوائر الرقميةِ. بالإضافة، نجد أن قوائم الشبكة الكهربائية net lists، ومقاسات التثقيب وبياناتِ أخرى ذات العلاقةِ يتم توليدها آلياً.

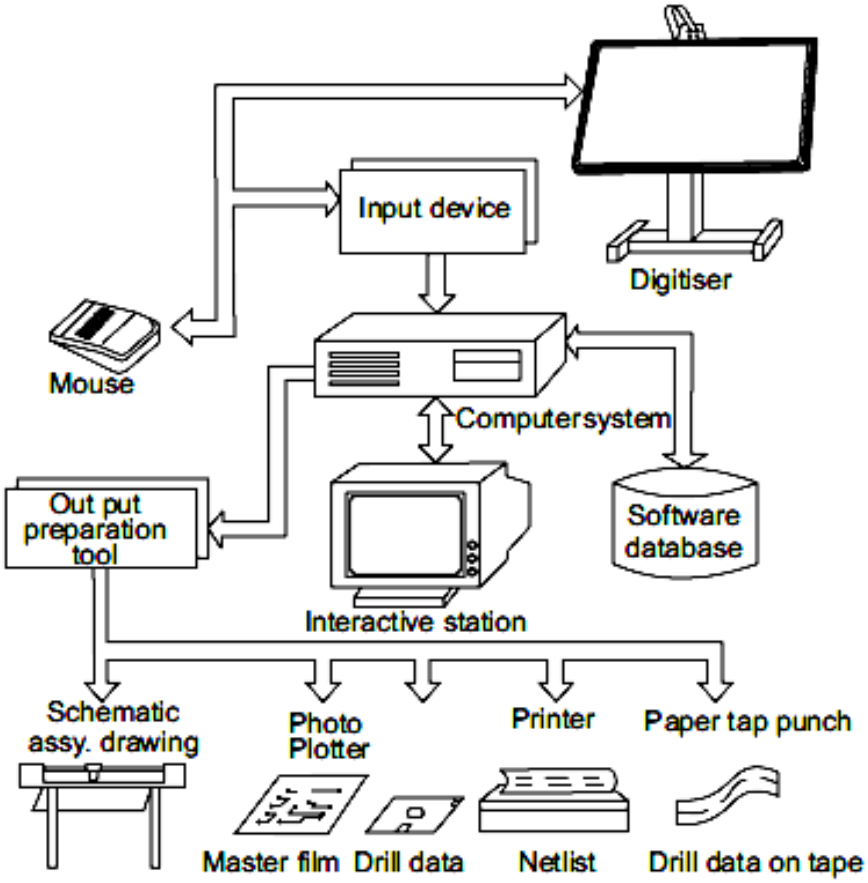
ومما لا شك فيه أن نظام تصميم بمساعدة نظم الحاسب المساعد في التصميم CAD system مع الإمكانياتِ المُخْتَلِفةِ يقدم فوائدَ كبيرةَ عن الطرقِ اليدويةِ للتَصميم. الفائدة المهمة هى الزمن المخفّضُ لإجراءِ الشكل العملي layout. أيضاً، في الكثيرِ من الحالات، مقدرة عَمَل تعديلاتِ للدائرةِ متوفر بشكل آني وببساطة، توثيق الإنتاجِ الحديث بشكل كامل.

بمساعدةِ الحاسب المساعد في التصميم CAD، نجد أن التغليف الأعلى كثافة يُمْكِنُ أَنْ ينجَزَ ومجموعةَ دوائر معقّدةَ مَع عدد أكبر من الدوائر المتكاملة لكلّ لوح، حيث يُمْكِنُها أَنْ تَكُونَ مرتّبة بالكاد مِن قِبل التصميم اليدوي. الأنماط الناتجة تكون بشكل ثابت بنفس الدقّةِ العاليةِ والجودة الثابتة. في تصميم لوح الدوائر المطبوعة متعدّد الطبقات، خاصةً، يلعب التصميم التفاعلي بمساعدة الحاسب CAD دوراً مهماً في عمليةِ التصميمَ.

١-٤-٥ متطلبات النظامِ

System Requirements:

الشكل رقم (٥-٢٤) يوضح رسم صندوقي عام لنظام الحاسب المساعد في التصميم CAD. المكوّنات المُخْتَلِفة لنظام الحاسب المساعد في التصميم CAD تم مناقشتها فيما يلي.



شكل رقم (٥-٢٤) الرسم الصندوقي لنظام الرسم بمساعدة الحاسب CAD .

٥-٤-١-١ الأجهزة Hardware

يشمل نظام الحاسب المساعد في التصميم CAD كل من الأجهزة hardware والبرامج software، حيث الأجهزة بها العنصر الأكثر رؤية. إعتِماداً على طلبِ المستعملَ، الأجهزة قَدْ تَتراوحُ مِنْ الحاسب الشخصيcomputer personal (PC) إلى محطة عمل فرعية workstation. محطة العمل الفرعية، عُموماً، لَهُا المزيد من قدرة الحوسبة وتهييء البيئة الشبكية. في النظام المُشَبَّك networked system، كُلّ المستعملون يُمْكِنُهم أَنْ يَشتركوا في قاعدةِ البيانات المشتركةِ إلى مكتبات العناصر والأدواتَ الخارجيةَ مثل الرسام القلمي pen plotters والطابعاتَ،

..الـخ. ترتيـب الحاسـب الشخصـي أَو ترتيـب محطـة العمـل الفرعيـةِ عـادة تكـون محكومـة ببـرامجِ CAD. إنّ الأجهزةَ الشخصية التاليةَ PC، على أية حال، كافية للعملِ مع أغلفة تصميم لوح الدائرة المطبوعة:

CPU	:	Intel Pentium IV Processor 2.0 GHz or better with 512 KB cache Memory or better;
Bus architecture	:	Integrated Graphics, 3 PCI and AGP;
Memory	:	128 MB 266 MHz DDR RAM upgradable upto 2.0 GB Master
Hard Disk Drive	:	40 GB Ultra DMA 100 HDD PCI Dual Channel Bus Master
FDD	:	1.44 Floppy Disk Drive (3.5") Internal
Monitor	:	15" SVGA Digital Colour Monitor (Support 1024 × 768 NI Resolution)
Video Controller	:	on board 4 MB or better Dynamic Video Memory
Keyboard	:	104 Keys Keyboard cherry type
Ports	:	2 USB Ports, 2 Serial Ports, 1 Parallel Port,
CD ROM	:	48X or better CD ROM DRIVE

الترتيب أعلاه يُزوّدُ تصميم لوح دائرة مطبوعة لبيئة محطة عمل فرعيةِ جيدِة لـ CAD.

أدوات دخولِ البياناتِ Data Entry Devices : تعتبر عموماً، لوحةَ المفاتيح أداةُ دخولِ البياناتِ الاكثر استعمالاً. بالإضافة، إلى بعض أدوات الدخل التخطيطيةِ مثل الأقلام الضوئية light pens ، شاشات اللمس touch screens، مقبض التوجيه joystick، الكرات التابعة أو السيارة track balls، الفئران mice ووحدات الرقمنة digitizers حيث تسمحُ للمشغلين بإدخال البياناتِ مثل الخطوطِ والنقاطِ في الشكلِ التخطيطيِ. أدوات الدخل التخطيطيةِ graphic input devices أيضاً تستَعملُ لإخْتيارَ الاصناف items مِنْ القائمة menu.

أدوات الخرج: النسخ المطبوعة مطلوبة لأغراضِ مُخْتَلِفةِ، شاملةً ذلك العرض الأولي preview، وخزن الملف storage file، والتقارير reports، والعروض presentations، والرسومات drawings المنتهية والأدواتَ الفوتوغرافيةَ الدقيقةَ precision photo-tools. عادة، الرسام يكون

بمقاس الورقة A1 حيث يُمْكِنُها أَنْ تلبّي أغلب المتطلباتِ، لَكنَّه غاليُ. لذا، الرسام ذو المقاس A3/A4 يصبح كافيُ.

نوعان أساسيُان من الرواسم القلمية الكهروميكانيكية electromechanical مستخدمان في أنظمةِ CAD. في الرسام ذو السريرِ المستويِ المتحرك في اتجاه X-Y، الاقلام المحكومة -servo controlled pens أَو الإبرةِ المُتَحَرّكة في محورين على الأوراقِ الثابتةِ المستوية. في الرواسم نوع اللفّةَ roll أَو الإسطوانة drum ، نجد أن الإبرةَ stylus أَو القلمَ pen يتحرك في محورِ واحد بينما الورق يتحرك في المحور الآخر على الاسطوانة الدوّارة. في الرواسم الضوئية photoplotters، ترسل رأس الضوء المتحركة شعاعَ متبؤر من الضوء خلال فتحةِ في فيلم أَو ورقة حسّاسة للضوء. إختيار الفتحةَ وحركةَ رأس الضوء تكون تحت تحكم البرامجِ. تولّدُ الرواسم الضوئية Photoplotters صور ذات درجة وضوح عاليةِ وتكون مصدر أساسي لأدوات طباعة ضوئية لألواح الدوائر المطبوعة من نظام CAD.

الطابعة تُستَعملُ لتَوليد قائمة وصلات الشبكة netlists، وفاتورة الموادِ. الطابعات المستعملة الأكثر شيوعاً هى الطابعات ذات الحبر النفاث inkjet أَو طابعات ليزرِ laser printers .

٥-٤-١-٢ البرمجيات Software:

إختيارَ البرمجيات المناسبة للتصميم بمساعدة الحاسب تكون في أغلب الأحيان صعبةُ وهناك العديد مِنْ المقالاتِ إستمرّت بالظُهُور في المجلاتِ المحترفةِ لمُسَاعَدَة الناسِ في إختياراتهم. هناك عِدّة إعتبارات لإخْتيارَ البرامج المناسبة للتطبيقاتِ المقصودةِ، التي تَتضمّنُ قابليات البرامجِ وكلفتِها. عُموماً، احتياجات تصميم لوح الدائرة المطبوعة، والعوامل مثل وصلة المواجهة للمستخدم، زمن التعلم، بنود المساعدةِ، سرعة الإستعمالِ،.. الخ. ، يَجِبُ أَنْ تؤْخَذَ في الحسبان.

منذ جَعْل الرسم التخطيطي schematic الخطوةُ الأولى في تَصميم لوح الدائرة المطبوعة، من الضروريُ تَحليل خواص محرّرِ الرسم التخطيطيِ schematic editor ، الذي قَدْ يتضمّنُ برنامجَ إلتقاط الرسم التخطيطيِ schematic capture programme ، والمكتبات مغذاة بالبرامجِ، وتدريج للرموزِ، وانتاج قائمة وصلات الشبكة netlist، والتغليف على الخط، والتوصيل الآلي للمسار العمومي bus ، ..الخ.

حيث أن التنسيب الجيد يُشكّلُ العمود الفقري للوح الدائرة المطبوعة المصمّم من قبل بشكل جيد، من المهم أن أدوات التنسيبِ المقدمة بواسطة البرامجِ يَجِبُ أَنْ تُسهّلَ تنسيبَ العناصر بأكثر الإساليب المثالية وفي أقصر وقت مُمْكن. النسبة المئويةِ للتوجيه، تعريف بارامترات المباعدة والتحكم في التنسيب، تنسيب المصفوفةِ، ومستعاد المكان الالي re-entrant autoplace، وحواكم الدورانِ، وأدوات لتَحْقيق التنسيبِ المثالي، والرؤية المستقلة مِنْ توصيلات المسار العمومي، والبحث عن العنصر أثناء التنسيبِ، تشكل أساسيات هذه الأدواتِ. الوقتُ الذي نحتاجه لإنْهاء اللوح بتركيبة من التوجيه الآلي واليدوي، والطاقة الإنتاجية، والنسبة المئويةِ للتوجيه، ودرجة التحكم، ودعم التوجيه المتقدم postrouting يشكل تعليمات لتقييمِ أداةِ التوجيه الآليةِ.

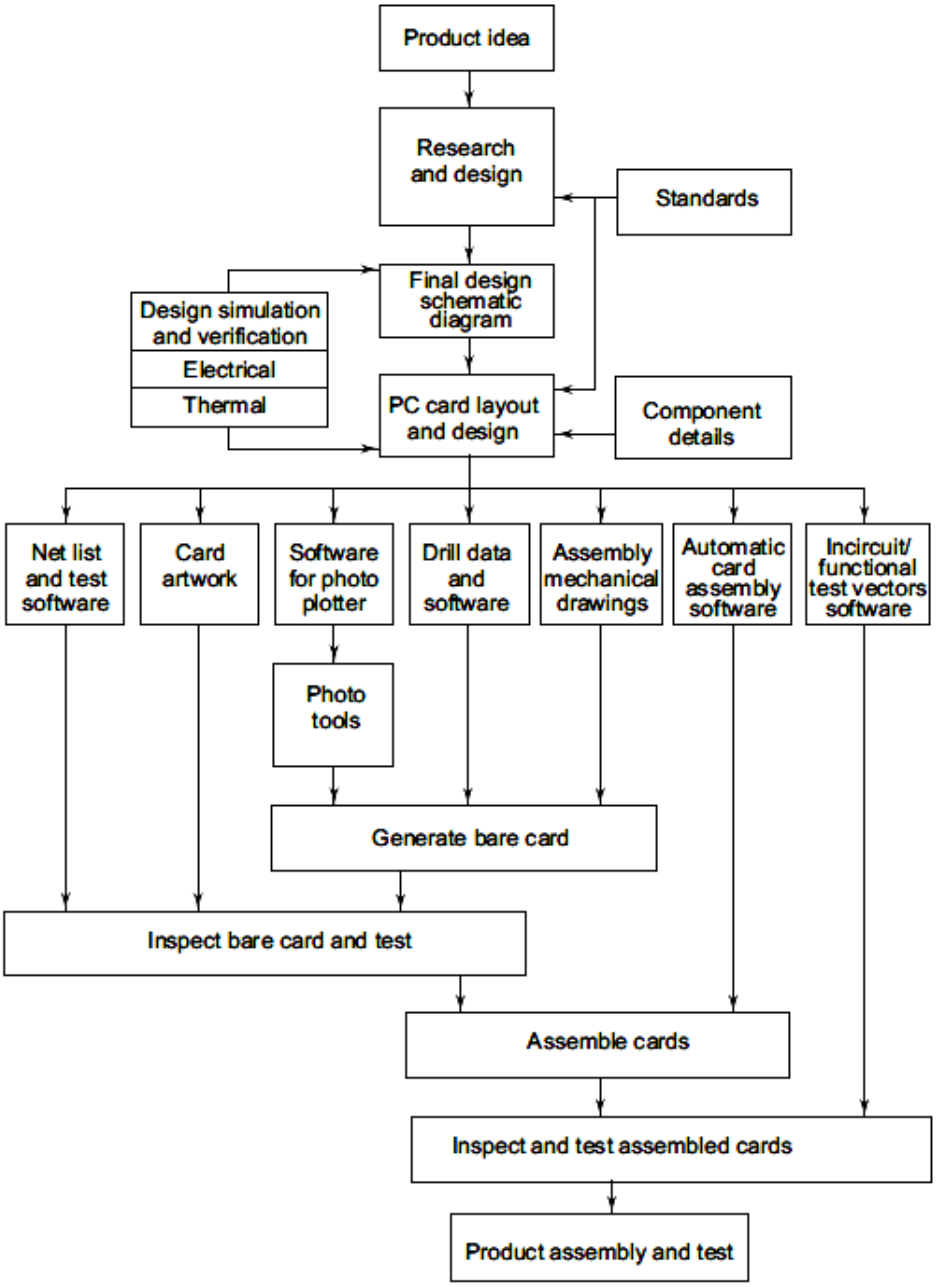
٥-٥ التشغيل الاساسي للتصميم بمساعدة الحاسب

Basic CAD Operation:

تبدأ عمليةَ التصميمِ بمساعدة الحاسب عادة مَع الرسم التخطيطي schematic أَو الرسم المنطقي logic. هذا يُمكنُ أَنْ يَكُونَ أمّا في شكل سريع بأبعاد تقريبية sketch أَو نقلَ إلكترونيَ مِنْ نظام إلتقاط Capture system. هذه المرحلة تُتبع بدَمْج قائمة وصلات الشبكة netlist مع تصميمِ الشكل العملي layout الطبيعيِ. من ثمّ يتم تكوين الشكل العام للوح board outline بموجب متطلبات الدخل. من ثمّ يتم إختيار اسلوب التنسيبَ لوَضْع العناصر. بمجرد أن تصبح عملية التنسيبِ كاملةُ، يتم تطبيق مرحلة توجيه التصميمِ.

أثناء عمليةِ التصميمَ وفي إكمالِ الشكل العملي layout، يمكن للنظام أَنْ يُدقّقَ أخطاءَ errors التصميمِ مثل إنتهاكاتِ الفراغ violations space، نِسَبِ مقياس وسادة الهبوط إلى الفتحة، وخلوص الادخال الآلي، وسط أشياء أخرى. هذا لربما تتمثل المنفعة الأهمّ لأنظمةِ CAD في قدرتِها للتَدقيق في التصميم في زمن حقيقي.

مجموعة البرامج المتوفرة حالياً تَعمَلُ إلى حدٍّ كبير أكثر مِنْ انتاج العمل الفني. الشكل رقم (٥-٢٥) يوضح الخطواتَ المُخْتَلِفةَ في عمليات التصميمِ والتصنيع. هذه الخطواتِ ستجدها مُفصّلة فيما يلي.



شكل رقم (٥-٢٥) يوضح خطوات تصميم وانتاج اللوح موضحاً الحيز العريض من المعلومات المطلوبة من المصمم لتصنيع وتجميع اللوح المطبوع.

الشكل التخطيطي Schematic Diagram : هذا يُعطي التدفقَ الوظيفيَ والتمثيلَ البياني للدائرة الالكترونية وهو يشْملُ التوصيلات الكهربائيةِ (شبكات nets) ونقاط التوصيل. الشكل التخطيطي يَتضمّنُ ما يلي:

١. الرموز التي تُمثّلُ العناصر المفردة مثل المقاوماتِ، والمكثّفات، والترانزستورات والدوائر المتكاملة؛ وهذه الرموز تتّبع المعايير الدولية؛
٢. مقابس الدخل / الخرج Input /output connectors؛
٣. المسارات العمومية Buses؛
٤. رموز القدرة والأرضي؛
٥. الأسماء الاسنادية للعناصر ؛ و
٦. النَصّ الذي يَدْعمُ التخطيطَ.

الشكل العملي Layout : هذا يَتضمّنُ إتّخاذ القراراتَ التي تخْتصُّ بما يلي:

١. التثبيت السطحي Surface أَو التكنولوجيا المُخْتَلَطة mixed؛
٢. الألواح الاحادية Single، أو الثنائية double أَو المتعددة multi الطبقات؛
٣. فتحات خلالية مطلية PTH أو غير مطلية non-PTH؛
٤. تنسيب العناصر، نقاط العبور vias، وسائد الهبوط lands ووسائد الإختبارِ وطبعات قدم العنصر footprints ؛ و
٥. انتاج مسارات التوصيل البيني interconnection tracks، الخ.

التصميم Design : إعتبارات التصميمِ يَجِبُ أَنْ تُقرّرَ بالتوازي مع الشكل العملي layout. العوامل التالية يجب أنْ يُعتَني بها مثل:

١. أبعاد عرض المسارات Track widths لضمان أن كثافاتِ التيار لَيستْ مفرطةَ؛
٢. الفصل (المباعدة) الكافي للمسار لكي لا يكون هناك انهيار كهربائي breakdown ؛
٣. التصميم الحراري المناسب لتَفادي أيّ بقع ساخنة على اللوح؛ و
٤. تأثير الطفيليات الضالّةِ، خصوصاً السعات الضالّة جداً في حالة دوائرِ التردد العالي، الخ.

قائمة Netlist: هذا يَتضمّنُ:

١. انتاج قائمةِ برمجية لتوضيح كُلّ ممرات التوصيل البيني interconnection ؛ و
٢. المقارنة مَع قائمة وصلات الشبكة netlist المولدة بواسطة الشكل التخطيطيِ لفحص دقةِ خطوط التوصيلات البينية.

عمل بطاقةِ فنية Card Artwork : هذا يَتضمّنُ:

١. خريطة الإختبارِ Test plot للشكل العملي layout النهائي للبطاقةِ؛
٢. التفتيش اليدوي للعناصر والتفتيشِ البصريِ للبطاقةِ؛ و
٣. انتاج معلوماتِ إختبار اللوح العَارِي (مرحلة ما قبل التجميع) مِنْ معلوماتِ نقاط العبور via وقائمة وصلات الشبكة netlist .

انتاج الأدوات الضوئية Photo-tooling: هذا يتضمن:

انتاج القناع السلبيِ photo negative أَو الإيجابيِ photo positive فوتوغرافياً.

بيانات التثقيب Drill data : هذا يَتضمّنُ:

١. تَحديد مقاسات التثقيب؛
٢. ضمان بأنّ التثقيب في الموقعِ الصحيحِ؛ و
٣. البرمجيات لتشغيل ماكينة محكومة بشكل عددي (NC) للتثقيب.

رسم التجميع Assembly Drawing : هذا يُتطلّبُ :

١. لتزوّيدْ معلوماتَ التصميمِ الميكانيكيةِ، بشكل مُحدّد: مادّة البطاقةِ، السُمك، الأبعاد عموماً والشكل؛
٢. للتدقيق في موقعَ بداية القياس datum position ؛ و
٣. لتثَبّيتْ مقاسات العناصر ومواقعَها.

التجميع الآلي للبطاقةِ Automatic Card Assembly : هذا يَحتَاجُ إلى:

١. ماكينات إدخال عناصر محوريةَ وشعاعيةَ ودوائر متكاملة؛ و

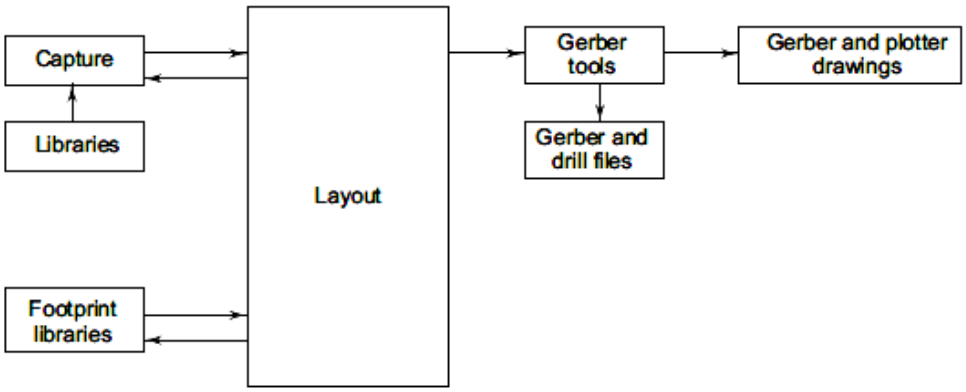
٢. مكينات إلتقاطْ ووضِعْ العناصر.

الاختبار في الدائرة / بالوظيفةِ: هذا يَتضمّنُ:

١. انتاج موجهِ إختبارِ؛ و

٢. الإختبار والتحقّق النهائي .

الشكل (٥-٢٦) يوضح التدفقَ التقليديِ للتصميمِ في أنظمةِ CAD.



شكل رقم (٥-٢٦) تسلسل التصميم النموذجي في أنظمة التصميم بمساعدة الحاسب.

٥-٥-١ خطوات الشكل العملي

Layout Procedure:

قبل بدء إجراءِ تنفيذ الشكل العملي، يجب الحصول على مواصفات مُفصّلة وكاملة عن الدائرة الكهربائيةِ. وهذا يَتضمّنُ النقاط التاليةَ:

١. الشكل التخطيطي Schematic مع تفاصيلِ العناصر، والتوصيلات البينية، ومواصفات مقبس الحافةِ؛

٢. قائمة العناصر حيث تتضمن اسمِ العنصر، ومواصفاته، وعدده، والصانع له؛

٣. المواصفات الميكانيكية مثل مقاس وشكلِ اللوح، فتحات التشغيل mounting holes، تعريف المناطق المحظورة فيما يتعلق بإرتفاعَ العنصر، وموقع مقبس الحافةِ، .. الخ؛

٤. مواصفات لوح الدائرة المطبوعة، سواء كانت أحادية الجانب؛ أو ثنائية الجانب أَو متعددة الطبقات، أو مطلية الفتحات الخلالية؛
٥. مواصفات النمطِ النحاسي فيما يخص نوعِ ومقاس الوسادةِ، أبعاد عرض الموصل، المباعدة؛
٦. المواصفات الكهربائية مثل القيودِ على تنسيبِ العنصر بسبب إنتاجِ الحرارةِ، والازدواج أو الترابط السعوي capacitive أَو الإزدواج الحثّي، مستويات الارضي، الطول الحرج للتوصيلات البينية،.. الخ. ؛ و
٧. تشغيل البياناتِ Data operation .

باديء ذي بدء، مكتبة العناصر component library تكون مهيئة بوَصْف كُلّ نوع من أغلفة العناصر المستعملَة مَع شكلها العام outline ونوع وسادتِها، ومقاسها وموضع وسادتها. في قائمةِ العناصر الكاملةِ، نوع التغليف، وتوجيه اسمِ العنصر وجانبِ التوصيل البيني على لوح الدائرة المطبوعة مُمَيَّز لكُلّ عنصر مستعمل. تَعطي قائمةُ التوصيل connection list حسابَ مضبوطَ لكُلّ التوصيلات البينية في شكلِ توصيل من نقطة لنقطةِ point-to-point form. تَحتوي قائمةُ تفاصيلِ اللوح معلوماتَ اللوح بشكل نهائي واحداثيات أركان اللوح y×x . إنّ الدخولَ الصحيحَ لهذه البياناتِ، وبشكل خاص، مِنْ قائمةِ التوصيل، يعتبر أعظم أهمية. في الكثيرِ من أنظمة CAD، هناك بند لدُخُول قائمتي توصيل لنفس الدائرة لكن تم إعدادهما مِن قِبل إثنين من المشغلين المستقلين. أيّ معالجة أخرى للبياناتِ محتملةُ فقط بعد التناقضاتِ بين قائمتي التوصيل اللتان تم مراجعتهما.

٥-٥-١-١ دخولِ الشكل التخطيطي

Entry of Schematic Diagram:

من المعروف أن الشكل التخطيطي يعطي تمثيلاً للتدفقَ الوظيفيَ والتمثيل البياني لدائرة كهربائيةِ. يعتبر دخولَ الشكل التخطيطيِ هو الخطوةُ الأولى في تصميم لوح الدائرة المطبوعة المستعمل في نظام CAD. أي شكل تخطيطي يتكون من :

١. التوصيلات الكهربائية (شبكات) Electrical connections (nets) ؛
٢. نقاط التوصيل Junctions ؛
٣. رموز الدوائر التكاملية؛
٤. رموزُ العناصر المفردة : المقاوماتُ والمكثّفاتُ والترانزستوراتُ، الخ. ؛

٥. مقابس الدخل/الخرج Input /output connectors ؛
٦. رموز التغذية والأرضي Power and ground symbols ؛
٧. المسارات العمومية Buses ؛
٨. رموزَ عدم التوصيل No-connection symbols ؛
٩. الأسماء الاسنادية للعنصر؛ و
١٠. النَصّ Text .

من المفروض أن الرموزُ المستعملة في الشكل التخطيطي تتبع المعايير الدولية.

في إلتقاط الشكل التخطيطي schematic capture، كُلّ تصميم تقوم بفتحه يكون في نافذة مديرِ مشروع منفصلة separate project manager window. إذا إحتجت للعَمَل بشكل آني بعِدّة تصميمات، يُمْكِنُك أَنْ تَفْتحَهم كُلّهم، وكُلّ واحد سَيكونُ لديه نافذة مديرِ المشروع الخاصةِ. مدير المشروع يُستَعملُ لجَمْع وتَنظيم كُلّ المصادر التي تَحتاجُها لمشروعِكَ. تَتضمّنُ هذه المصادرِ ملفات الأشكال التخطيطيةَ، صفحات الاشكال التخطيطية، مكتبات الاجزاء، والأجزاء، وتقارير الخرج مثل فواتيرِ الموادِ وقوائم وصلات الشبكات netlists. أي مدير مشروع لا يحتوي في الحقيقة كُلّ المصادر. هو مجرّد " يُشيرُ إلى " الملفات المُخْتَلِفة التي يستخدمها المشروعَ. لهذا السبب، كن متأكّد بأَنّك لا تُحرّكُ أَو تَحْذفُ أيّ من ملفات المراجعة مِن قِبل المشروع. إذا قمت بفعل ذلك، فإن المشروع لَنْ يَكُونُ قادر على إيجادهم.

إنّ ملفَ المشروعَ يتم تخزينه كملف آسكي (رمز قياسي أمريكي لتبادلِ المعلومات)
ASCII-file (American Standard Code for Information Interchange)،
ويُمْكِنُ أَنْ يُنْظَرَ في أيّ محرّر نَصِّ.

٥-٥-٢ مدير المكتبةِ

Library Manager:

يَحتوي مديرُ المكتبةَ كُلّ الملفات لطبعات القدم footprints للعناصر. طبعات القدم هذه مستخدمة في تصميم لوح الدائرة المطبوعة. يُزوّدُ الشكل العملي layout بوسيلةَ لخَلْق مكتبة أثرِ أو طبعة

القدم للعنصر. تَحتوي المكتبات أيضاً على تَشْكِيلة من الرموزِ التي يُمْكِنُك استعمالها في ألواحِكَ. الشكل العملي لَهُ أكثرُ مِنْ ٣٠,٠٠٠ أثرِ أو طبعة قدم footprint/trace.

آثار أو طبعات القدم Footprints/traces :

تُشيرُ آثارُ أو طبعات القدم إلى الوصفِ الطبيعيِ للعناصر. يتكون أثر أو طبعة القدم عموماً من الثلاثة أنواع التالية :

١. أكوام الوسائد Pad stacks ؛
٢. العقبات، يُمثّلُ الشكل العام الطبيعي للعنصر، الشكل العام للشاشة الحريرية silkscreen outline، الشكل العام للتجميع assembly outline، والشكل العام للإدخالَ والتنسيبَ placement and insertion outline ؛ و
٣. النَصّ.

يمكن رؤية مكتبة أثر أو طبعة القدم كعرض بياني حيث يُمْكِنُك أَنْ تُؤدّي أعمالَ مُخْتَلِفةَ على أثرِ القدم، مثل التَحرير، والتسجيل، والنْسخُ والحْذفُ.

خَلْق وحداتِ مكتبيةِ جديدةِ

:Creating New Library Modules

إستعمال مديرِ المكتبةَ، يُمْكِنُك أَنْ تَخْلقَ وحدة مكتبيةِ جديدةِ بتسجيل طبعات قدم جديدةِ أَو حاليةِ إلى المكتبة التي قمت بتسميتها. يُمْكِنُك من ثمّ أن تُضيفُ آثارَ قدم أخرى بإخْتياَرها في قائمةِ آثارَ الاقدام وتسجيلها إلى وحدةِ المكتبةِ المَخْلُقةِ حديثاً. يُمْكِنُك أيضاً تكوين آثارَ أقدام جديدةَ وإضافتها إلى المكتبات.

بنفس الطريقة، يُمْكِنُك إضافة أطراف دبوسية إلى أثر القدم. ويُمكنُ أَنْ تَكُونَ هذه الأطراف الدبوسية عدديةَ أَو رقميةَ، وتوَضعَ في أيّ طلب. بالأساس default، فإن الشكل العملي يسمي الاطراف الدبوسية مع الطلبِ العددي الذي يَبْدأُ بالعدد ١. يَجِبُ أَنْ يُغيّرَ أسماءَ الأطراف الدبوسية في الشكل العملي ليتوافق مع أرقام الأطراف الدبوسية في الشكل التخطيطي، أَو تُغييّرُهم في مكتبةِ الشكل التخطيطي.

تَخصيص أكوام الوسادةِ إلى دبابيسِ طبعة القدم :

تُعرّفُ أكوامُ الوسادةِ الأطراف الدبوسية على كُلّ طبقة من طبعة القدم. توضح أكوامُ الوسادةِ شكلَ ومقاس كُلّ دبّوس. يُمْكِنُك أَنْ تُخصّصَ نفس كومةِ الوسادةِ إلى كُلّ الأطراف الدبوسية في طبعة القدم footprint يستعملُ صندوق حوار تحرير طبعة القدم.

٥-٥-٣ تنسيب العنصر

:Component Placement

بعد أن تكون بياناتِ الدخل مقبولة بالكامل بواسطة الحاسبِ، فإن تنسيب العنصر يصبح قيد التنفيذ. تلك العناصر لأَيّ موقعِ تم تحديده في وقت سابق مِن قِبل المصممِ سَيَحْصلُ على وضِعها وفقاً لذلك. العناصر الأخرى تَوضِعُ عادة بإسلوب يضْمنُ الحَدّ الأدنى للطول الكلي للموصل. خطوتى تنسيبِ محتملان: أمّا التنسيب الكامل يُمْكِنُ أَنْ يُوجّهَ بالكامل مِن قِبل المشغلِ، أَو يُمْكِنُ فقط أن يَكُونُ مُحَاوَلاًت بواسطة روتينِ التنسيبِ الآلي بتدخّلِ المشغلِ، اينما كان ضروري.

هذا الجزءِ من البرمجيات يمكن الفرد من وَضْع العناصر بالإضافة لتوجيهها، ووضع وحدة القياس، والشبكات البيانية، والمباعدة. للتنسيبِ والتوجيه للعناصر، فإن التنسيب الآلي ووسيلة التوجيه الآليةِ يستَعملان عادة. على أية حال، في العديد مِنْ البرمجيات، بَعْض الإشاراتِ الحرجةِ يَجِبُ أَنْ تكُونُ مَوجهة يدوياً قبل التوجيه الآلي. تؤخذ الخطواتَ التاليةَ في الاعتبار لتصميمَ اللوح:

١. خلقْ قائمة وصلات الشبكة netlist مِنْ الشكل التخطيطي بإستعمال الإلتقاط capture. يعتبر ملف قائمة وصلات الشبكة Netlist، ملف وثائقي يَحتوي معلوماتَ حول التوصيلات البينية المنطقيِّة بين الإشاراتِ والأطراف الدبوسية. يتكون ملف قائمة وصلات الشبكة Netlist من رموز الشبكات nets، والأطراف الدبوسية، والعناصر، والمقابس، ونقاط التوصيل، ورموزَ عدم–الإتّصالِ، ورموز التغذية والأرضي. قبل تكوين ملف قائمة وصلات الشبكة netlist، تأكد من أن مشروعك مُكتمَل، وله تفسيرات وخالي من إنتهاكاتِ القاعدةِ الكهربائيةِ.

٢. تتضمّنُ البرمجيات قواعدَ التصميمِ لكي تُوجّهَ التنسيبَ والتوجيه المنطقيَّ، اللذان يَعْنيانِ، وجوب تُحميلَ قائمة وصلات الشبكة netlist إلى الشكل العملي layout لخَلْق اللوح بتَحديد بارامترات اللوح.
٣. حدّدْ بارامتراتَ اللوح. حدّدْ الاعداد الدولي للوح، متضمناً ذلك وحدات القياسات، والشبكات البيانية، والمباعدة، خُلقُ الشكل العام للوح وعرّفُ أكوامَ الطبقات، وأكوام الوسائد ونقاط العبور vias.
٤. وضع العناصر. إستعملْ أداةَ العنصر لكي تَضعَ العناصر يدوياً المثبتة مِن قِبل مصممِ النظامَ على اللوح أَو استعملُ التنسيبَ الآليَ ما عدا ذلك.
٥. توجّيهْ اللوح. إستعملْ تكنولوجيات التوجيه المختلفةِ لتَوجيه اللوح واستفد من اسلوب التوجيه بدفعِ وشق push-and shove (تكنولوجيا توجيه)، التي تُحرّك المساراتَ لعمل غرفة للمسارات التي تقوم بتوجيهها بشكل جاري، ويُمْكِنُك أيضاً أن توجه آلياً اللوح.
٦. إنْهاء اللوح. يغذي النظامُ تعاقبَ منظّمَ مِنْ الأوامرِ على القائمةِ الآليةِ Auto menu لإنْهاء تصميمِكِ. تَتضمّنُ هذه الأوامرِ مراقبةَ قاعدةِ تصميمِ Design Rule Check، تصميم التنظيفِ Clean-up design، إعادة تسمية العناصر Re-name Components، تفسير عكسي Back Annotate، معالج التشغيل المتقدم Run Post Processor، وخُلقُ التقارير Create Reports .

٥-٥-٣-١ تنسيب يدوي

Manual Placement:

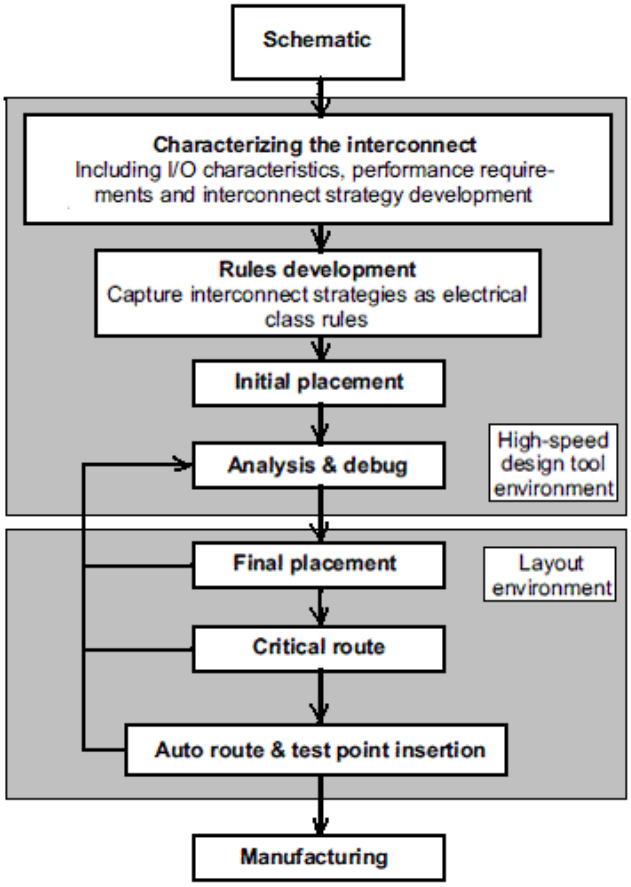
توضح شاشة العرض البيانية مخططَ اللوح كما هو موصوف في قائمةِ اللوح. في نفس الوقت، كُلّ العناصر موضحة بشكلها العام outlines في احد اركان لوحة العرضِ متضمناً قمة الطرف الدبوسي المستقيمِ مع التوصيلات البينية.

بمساعدة القلم الضوئي، يُمْكِنُ أَنْ تُستَدعى العناصر واحدةً بعد الآخرى، وتَتحرّكُ عبر شاشة العرض إلى الموقع الأكثر مناسبة. القلم الضوئي جهاز إلكتروني محمول يدوياً. إذا كان مَحْمُولِ قريب من شاشة العرضِ، فإن موقعه يُمْكِنُ أَنْ يُكتَشفَ بالحاسبِ ببرنامج خاصّ. عندما تكون العناصر مُتَحَرّكة، فإن التوصيلات البينية بشكل آني تتبع ذلك في خطوطِ مستقيمةِ مثل الأربطة المرنة.

٥-٥-٣-٢ تنسيب آلي مع تفاعلِ المشغلِ

Automatic Placement with Operator's Interaction:

بإستخدام روتينِ تنسيبِ placement routine الحاسبَ، من المحتملُ مُحَاوَلَة التنسيبِ الأمثل للعنصر بالوسائلِ الآليةِ. العناصر ذات التوصيلات البينية الأكثر ستكون مَوْضُوعة سوياً في مجموعاتِ بينما العناصر بالمواقعِ السابقة التحديد تكون مَوْضُوعة وفقاً لذلك. تخصيص العنصر يَحْدث الآن بواسطة تَقليل الطول العامِّ للموصل ويُمْكِنُ أَنْ يُلاحظَ على شاشة العرض. الكمية الضخمة للبياناتِ الّتي سَتُعالجُ وتُعتَبرُ بواسطة روتينِ التنسيبِ الآلي، الشكل رقم (٥-٢٧) جاعلةً إياه صعباً جداً لإيجاد الحَلِّ الأمثل. حيث أن المصممِ لديه الخيارُ للتَفَاعُل، فإن الحَلّ المقبول يُمْكِنُ أَنْ يُوْجَدَ بالجُهودِ المشتركةِ.

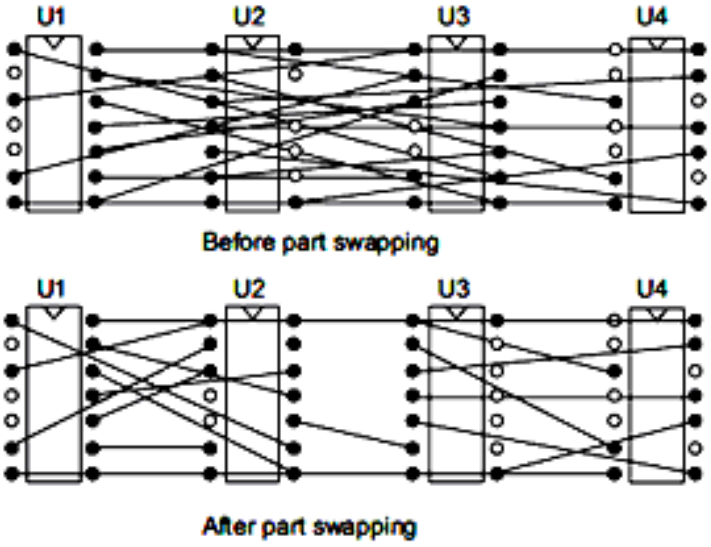


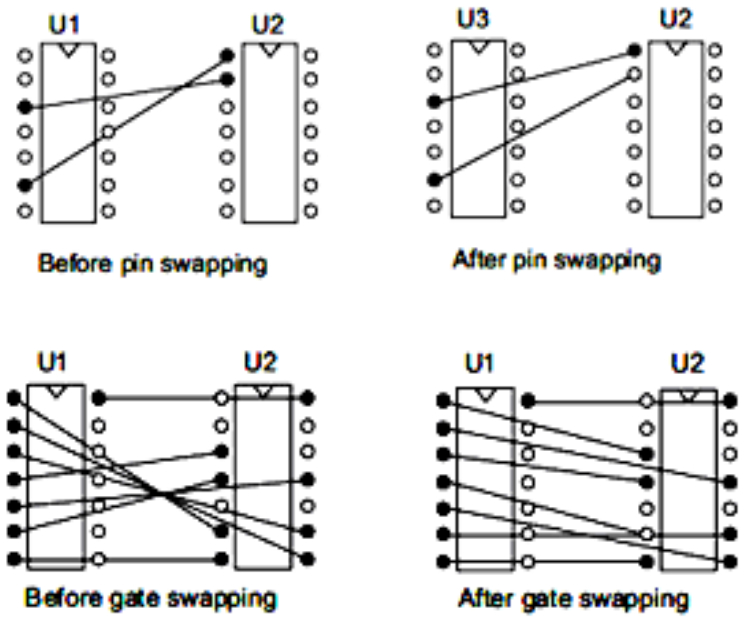
شكل رقم (٥-٢٧) يوضح أدوات التصميم عالي السرعة: عملية التصميم الطبيعي.

أغلب روتيناتِ التنسيب الآلي أَو خوارزمياتِ التنسيبِ الآليةِ تضع العناصر بشكل آلي بصرامة في المواقع المُعَرَّفة على اللوح المطبوع. تَسْمحُ الأنظمةُ الأخرى للوَضْع العشوائيِ للعناصر، تَحديد تداخلِ جسمِ العنصر فقط. كُلّ الأنظمة تُحاولُ تَقليل طولِ ممر التوصيل (Ginsberg، 1992 a). أغلب اساليب التنسيب الآليةِ المستعملةِ بشكل شائع هى:

المبادلة Swapping: هى ميزّة محتملة مِنْ أنظمةِ CAD وهى القدرةُ لتبديل مواقعِ بعناصر مماثلةِ لذا فإن إمكانية التحسين تصل لنسبة ١٠٠ بالمائة للتوصيلات البينية. بعض التنسيب الآلي autoplacement يعطي الاغلفة القابليةَ لتبديل الأجزاءِ والبوابات المنطقية والأطراف الدبوسية كما هو معروض في الشكل رقم (٥-٢٨ a).

العناصر والأطراف الدبوسية يُمْكِنُ تُبديلهما آلياً للحُصُول على الاقصر من الطول السلكي الممكن عموماً؛ العناصر، والبوابات المنطقية والأطراف الدبوسية يُمْكِنُ تبديلها بشكل تفاعلي لتَقليل تعقيد التوجيه وتَقصير طولِ السلكِ العامِّ.





شكل رقم (٥-٢٨ a) يوضح تبديل الاجزاء، والبوابات المنطقية، والاطراف الدبوسية في أنظمة التصميم بمساعدة الحاسب.

تحريك/ دوران Moving/rotating: هذه عادة تكون أداةُ تصميمٍ تفاعليةٍ ادَخلتْ مِنْ القائمة menu أثناء مرحلة تصميم التنسيبِ. وهذا يُمكّنُ المصممَ تَحَرُّيك و/ أَو دوران أيّ جزء فردي في التصميم. مجموعة البرامج الأذكى لَها القدرةُ أيضاً لتَحَرُّيك وإدَارَة مجموعة كاملة، أَو لإدَارَة نوع العنصر الكامل.

التَقسيم أو التجزئة Partitioning : في هذا الإسلوب، عملية التصميمَ تخفض لسلسلة من المشاكل المجزئة. أولاً، خَطّ الحَدِّ العمودي يُقسّمُ مجموعة من مواقعِ العناصر إلى نصفين أحدهما على اليسارِ والآخر على اليمين. مجموعةَ العناصر من ثمّ يتم تقسيمها إلى نصفين؛ إجراء التَقسيم يبدل مجموعات العناصر لتَقليل عدد نقاط التقاطع لخَطِّ الحَدِّ العموديِ.

ثانياً، مجموعة المواقعِ تُقسّمُ إلى نصفين أعلى وأسفل مفصول بينهما بواسطة خط الحد الأفقي، ونفس طريقةِ التبديل للعناصر مستعملةُ. كُلّ عنصر الآن وُضِعَ في أمّا ربع الدائرة الايسر–الأعلى،

أو الايمن–الاعلي، أو الايسر –الاسفل، أو الايسر–الاسفل، أو الايمن–الاسفل. اسلوب التَقسيم يُطبق على كُلّ مِنْ أرباعِ الدائرة تباعاً، ومن ثم إلى ثُمن (زاوية مقدارها ٤٥ درجة– ٨/١) محيط الدائرة الناتج حتى تُحتوي كُلّ منطقة موقع لوح واحد.

التنسيب التكراري Iterative placement : النظرة الأكثر عمقاً للتنسيبِ الآلي هو أَنْ يَبْدأَ بالتنسيب، وتطبّيقُ الإختيارِ metric of choice للحُصُول على "نتيجة score " للتنسيبِ الحالي، ومن ثمّ يُكرّرُ العملياتَ:

١. إخْتيارَ ترتيب قانوني جديد مِنْ العناصر؛
٢. الحُصُول على نتيجة للترتيبِ الجديدِ؛ و
٣. إذا كانت النتيجةِ الجديدةِ "أفضلُ better " مِنْ النتيجةِ الحاليةِ، جاعلاً الترتيبَ الجديدَ الترتيب الحالي والنتيجة الجدّيدة هى النتيجةَ الحاليةَ.

خلال هذا الاسلوب، يستطيع المصمم الحصول على الترتيب الأفضلِ لتنسيبِ العنصر. على أية حال، العملية تبدو بطيئةُ جداً لأن الإختياراتَ الكاملةَ للترتيب الجديد عشوائي.

٥-٥-٤ توجيه الموصل

Conductor Routing:

بعد تنسيبِ العنصر، ما زالت التوصيلات البينية لم يتم توصيلها بعد كتوصيل دبّوس مستقيم إلى دبوس مستقيم بِكُلّ الإتجاهات عبر شاشة العرضِ. البرنامج الروتيني الآلي الآن لَهُ مهمّةُ إيجاد نمط التوصيل البيني الذي يكون مناسب على لوح الدائرة المطبوعة. هذا الإجراءِ مُنَفَّذُ بالتركيز على الأولويات التالية:

١. التوصيلات البينية يجب فهمها أو تعريفها طبقاً للطولِ.
٢. يَبْدأُ توجيه الموصل بالتوصيلات البينية الأقصرِ.
٣. كُلّ العقبات الحالية مثل وسائد ومناطقِ نحاسيةِ يجب فهمها أو تعريفها .

٤. فتحاتِ العبور Via holes مُقَلَّلة بنَقْل الموصلات أَو الأجزاءِ من ذلك إلى جانب اللوح الأمثل. (أي فتحةِ عبور هى عبارة عن فتحة خلالية مطلية عادة من قطر أصغر حيث يخدم كتوصيل بيني بين نمطِ الدائرةَ على جانبى اللوح، لَكنَّها لَيسَت مستعملة لتثبيت طرف العنصر).
٥. كُلّ المعلومات في ذاكرةِ الحاسبَ وعلى شاشة العرضِ تحدث (تجدد) بشكل مستمر.

على شاشة العرضِ، أنماط جانبي اللوح المختلفينِ قادرة على التمييّز طبقاً لشدة الضوء المختلفة. سَتُحاولُ البرمجيات وَضْع كُلّ الموصلات في الاتجاه x في احد جانبي اللوح بينما الموصلات في الاتجاه y تكون مَوْضُوعة على الجانبِ المعاكسِ.

الحاسب في حد ذاته ومن غير المحتمل سَيَكُونُ قادر على وَضْع كُلّ الموصلات في اللوح أَو قَدْ يجِدُ الحلولُ أيضاً مع المساراتِ الطويلةِ جداً التي تكون خطرة جداً بسبب إمكانيةِ عدم الرغبة لتأثير الإزدواج. التوصيلات البينية الغير منهية (عادة حوالي ٢٠ بالمائة) تظهر كخطوط منقوطة. حيث أن المشغلِ لديه رؤية عامّة أفضل على النمطِ، يُمْكِنُه أَنْ يجعل توجيه الموصل يتداخل ويَنتهي.

٥-٥-٤-١ التوجيه الآلي
Auto-Routing:

في الوقت الحاضر تعتبر أنظمة CAD قادرة على مُعَالَجَة تكنولوجيا الخَطِّ الرفيع fine line، والأبعاد المتغيّرة لعرض المسار، ونقاط العبور المدفونة والمستورة بالإضافة إلى مقاسات نقاط الهبوط المتعدّدةِ على نفس الطبقةِ مَع شبكة متغيّرة. يُحاولُ برنامج التوجيه الجيد تنفيذ كُلّ التوصيلات المطلوبة بإستعمال الشبكةِ البيانية الأقصرِ. يُحاولُ برنامج التوجيه الجيد تنفيذ كُلّ التوصيلات المطلوبة بواسطة إستعمال ممرات الإتصال الكليّةِ الأقصرِ وفي نفس الوقت يُخفّضُ عددَ نقاط العبور vias. العديد مِنْ الموجهات الآليةِ تُحدّدُ التَوجيه بين أزواجِ من الطبقاتِ فقط. للتوجيه الكفوءِ، يجب أنْ تُؤْخَذَ كُلّ الطبقات بعين الإعتبار بشكل آني. الموجه الآلي لبرمجيات معيّنةِ يَجِبُ أَنْ يكُونَ قادر على بِناء نمط توجيه ذكي بينما يُدقّقُ في الخلوص بشكل ثابت وكذا التوصيلية. كُلّ هذا يَجِبُ أَنْ ينجز بينما يَبقي كل من التوجيه والتكلفة للدائرة عند الحَدّ الأدنى.

الأصناف/التغييرات المختلفة والمستخدمة للموجه الآلي automatic routers لتصميم لوح الدائرة المطبوعة تتضمّنُ:

١. موجهات متاهة التشغيل Maze-running routers ؛
٢. موجهات خط مسبار Line-probe routers ؛
٣. موجهات القناة Channel routers ؛
٤. موجهات التمزيق Rip-up routers ؛ و
٥. موجهات الدفع والشق Push-and-shove routers ، كما في ' OrCAD-Layout Plus'.

موجهات متاهة التشغيل Maze-running Routers:

في هذا الاسلوب، ينفذ الموجه router التوصيلات البينية بواسطة التَوَسُّع للخارج مِنْ نقطةِ توصيل الشبكةِ البيانية الأبتدائية حتى إيجاد النقطةِ الثانويةِ وتوصيلها. يحاول مشغل المتاهة maze runner إكْمال كُلّ ممر محتمل، ومقارنة كُلّ التوصيلات الناجحة واختيار الاحسن (الممر الأقصر و/ أَو أقلّ نقاط العبور vias) المتوفر. تَتطلّبُ هذه الطريقةُ عادة زمن معالجة أطولَ.

موجهات خَطِّ المسبار Line-probe Routers:

هنا، يقوم الموجه بتوصيل زوج من النقاط بواسطة البِناء بشكل آني أَو تسلسلي لقِطَاعات من الخَطِّ (مَسابر) خارجة من كُلّ نقطة لتصبح موصولة. عندما يتقاطع خطين متعاقبين، فإن ممر التوصيل يكتمل. هذه الطريقةُ تعطي أكثر من ٩٥ بالمائة معدل إكمال completion rates.

موجهات قناةِ Channel Routers :

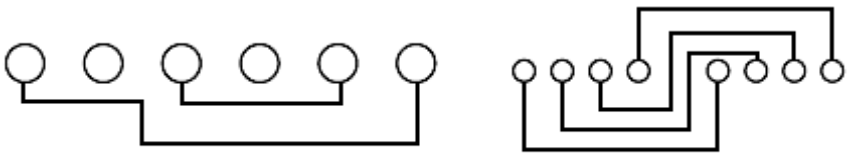
تَتضمّنُ هذه الطريقةِ وَضْع عناصر الدائرةِ بطريقة يمكنها من أن تترك قنوات عمودية وأفقية بين العناصر التي خلالها يمكن أن تمر ممرات التوصيل. أيّ نقطتان سيتم توصيلهما يَجِبُ أَنْ تقعان في نفس القناةِ أو العمودِ أَو الصفِّ، للموجه لإتمام التوصيل. يَمْضي الموجه بتوصيل الممرات paths الأقصرِ أولاً ويتقدمِ حتى تكتملَ كُلّ التوصيلات ضمن القناةِ. وبعد ذلك سَيَنتقلُ إلى القناةِ التالية وفي النهاية إلى الجانبِ الآخرِ. هذا لأن خوارزميةَ الموجه الأساسيةِ تَشتغلُ على طبقتى دائرتِينِ، جاعلةً توصيلات عموديةَ على أحد الجانبين والتوصيلات الأفقية على الطبقةِ أو الجانب الآخر.

موجهات التمزيق أو الإزالة وإعادة البناء Rip-up or Ripup/retry Routers :

الخوارزم المستعمل في هذه الطريقةِ يقسّمُ البطاقة الإلكترونية إلى شبكة بيانية مع كُلّ نقطةِ توصيل مقيمة في خلية شبكةِ بيانية grid cell . الخلايا التي تَحتوي وصلات تَسمى العقباتَ obstacles والتي لا تحتوي وصلات تعرف بالخلايا الحرة free cells . يحافظ الخوارزم على مسار الخلايا المتوفرةِ ويبحث عن الممر الأقصرُ بين وصلتين. تَستمرُّ العمليةُ حتى يتم توجيه كُلّ الوصلات. (Ginsberg، 1992 c).

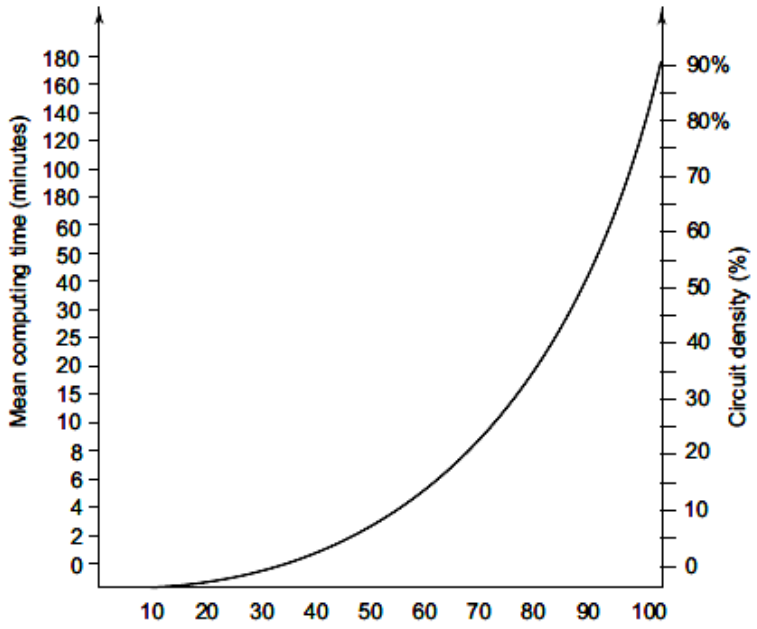
موجهات الدفع والشق Push-and-shove Routers :

بهذا الخوارزم، الممرات المُكتمَلة التي تُشكّلُ العقباتَ obstacles إلى الممرات اللاحقة لَمْ تُزلْ لكنها توجه مرة ثانيةً. بدلاً مِن ذلك، يكتمَلُ الممر بدَفْع pushing أَو شق shoving القطاعات الصغيرةِ مِنْ الموصلات الموجهة سابقاً لكي تضع قنواتَ إضافية للتوجيه. هذا الاسلوب عموماً مستعمل من قبل المصممين البشريين ويتضح في الشكل رقمِ (٥-٢٨ b).



شكل رقم (٥-٢٨ b) يوضح طريقة التوجيه بالدفع والشق.

عادة يقاس أداءَ خوارزم التوجيه الآلي مقابل النسبة المئويةِ للتوجيه الكاملَ أَو بكلمة أخرى، هو كميةَ الجُهدِ اليدويِ المبذول لإكْمال شغل. وقت التنفيذ execution time ومصادرِ النظامِ المطلوب يؤخذ أيضا كإعتباراتَ مهمةَ. الشكل رقم (٥-٢٩) يوضح معدلات الاكمال completion rates مستندة على زمن إكمال الكثافةِ والتوجيه. أفضل الخوارزمياتِ تُصمّمُ لتحقيق توازن كل من العوامل الاقتصادية والفنية. يَسْمحُ النظامُ للمستعملِ عادة لإكْمال التوصيلات الغير منهية، بينما يراقبُ عملَه مقابل القواعد الإجرائيةِ للتوصيلات البينية والاشارة إليها عندما تظهر أيّ قواعد مُنتَهَكة. تُساعدُ قابليةُ إعادةَ الدخول المصممَ لعمل تغييرات على التصميمَات المعروضة سابقاً من ناحية الحركاتِ، وحذف وإضافة الموصلات.

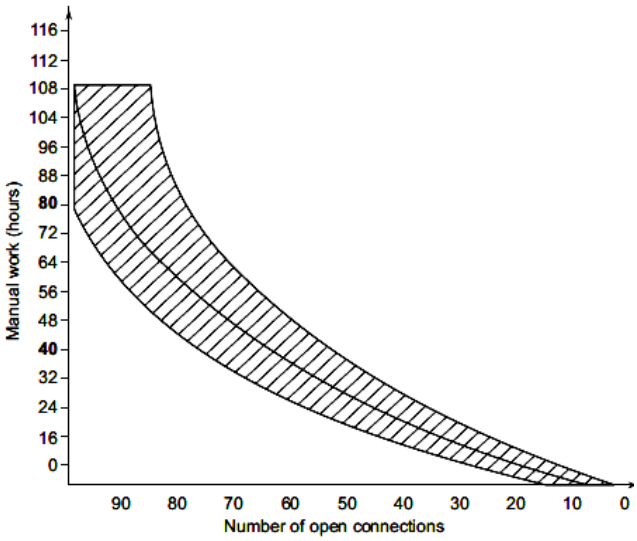


شكل رقم (٥-٢٩) يوضح معدلات الإكمال المؤسسة على كثافة الدائرة وزمن إكمال التوجيه.

كما أنه لا يوجد موجه يَعطي ١٠٠ بالمائة توجيه آليَ على كُلّ لوح، فإن هذا يجعل مَنْ الضَّرُوري أَنْ يتم إكمالها بواسطة الوسائل اليدوية. عموماً، عمليات التوجيه الأخيرة تعتبر الأكثر صعوبةً لتوصيل وإجراء التغييراتِ المطلوبة في التنسيب السابق. الشكل رقم (٥-٣٠) يُصوّرَ العمل اليدوي المطلوب مقابل عددَ التوصيلات المفتوحة (الغير موصولة) بعد التوجيه الآليِ. ربما على أية حال، يَكُونُ ملحوظ أن الحاسبات الصغرى الأكثرِ قدرة والأسرعِ تَجْلبُ أنظمة توجيه العمل الفني إلى مدى سعرِ رخيصِ، الذي سَيؤدّي في إمكانياتِ التوجيه الآليةِ الاعلى وذات المستويات الأعلى في النهاية. Mantay، وآخرين (١٩٩١) قاموا بوصِفْ نموذج بسيط لتَحسين التوجيه الآلي لتصميم لوح الدائرة المطبوعة للقدرة على التصنيع manufacturability وقدرة التوجيه routability.

فراغ توزيع الأسلاك المستعمل بواسطة الموجهات يكون موصول بواسطة أنواعِ مُخْتَلِفةِ من طرق تنظيم الفراغ space organization methods المستعملة في التوجيه الآليِ. وهي تأخذ ترتيب اللاشبكة بيانية gridless، وترتيب الشبكة البيانية grid، وترتيب الشبكة البلاستيكية

plastic grid ، والطرق القناتية channel methods وتركيبات من هؤلاء (Ginsberg، 1992 a).



شكل (٥-٣٠) منحني الإكمال: التشغيل اليدوي مقابل عدد الوصلات المفتوحة بعد التوجيه الآلي.

ترتيب الشبكةِ البيانية Grid arrangement : في هذه الطريقةِ، الموصلات يُمْكِنُ أَنْ توضع على أيّ خط شبكة gridline حيث لا يسبب تداخل مَع نقطة هبوط، أو طرف عنصر، أو نقطة عبور أَو مساحة محفوظة خارج التصميم. تعمل الموجهات المشبكة routers Grided أفضل مَع التصميمات المتضمّنُة بشكل رئيسي الدوائر المتكاملة ذات التدريج الصغير small-scale (SSI) وذات التدريج المتوسط medium scale (MSI). تصبح العناصر الأعلى كثافة، ذات توجيه أبطأ لأنه يَجِبُ أَنْ يُعالجَ العدد الأكبر للموجهاتِ الإحداثية co-ordinate vectors.

ترتيب اللاشبكة بيانية Gridless arrangement: تَعتمدُ الموجهات عديمة الشبكة البيانية Gridless على قواعدِ التصميمِ أيضاً، لكن لَمْ تُقيد بشبكة ثابتةِ أو أبعاد الخليةَ. بدلاً مِن ذلك، يتم تقييم عرضَ الموصل، ومباعدة الموصل ومقاس نقطة العبور لشبكة كهربائية بشكل جاري أثناء التوجيه، لكي يتم تغيير مقاس الشبكةَ البيانية بسرعةٍ فائقةٍ. هذا الاسلوب يسْمحُ لتَكديس الموصلات والمباعدات لأبعاد عرض مختلفةِ عبر فترة السطح بينما تراوغ العقباتَ مثل الاطراف الدبوسية ونقاط

العبور vias. من مميزات الموجهات عديمة الشبكة البيانية gridless routers هو أنّها تتكيف بسهولة للتَغْيير في الطوبولوجيا topological وتكنولوجيا التغليف مثل متطلباتِ عناصر التثبيت السطحيّةِ. على أية حال، الطريقة بطيئُة أصلاً.

ترتيب الشبكةِ البيانية البلاستيكية Plastic grid arrangement :

الشبكة البلاستيكية أَو تنظيم الحقلِ المرنِ السطحيّ يسمح لكُلّ توجيه شبكة بيانية بمقاس مختلف. تعمل قبل التوجيه الفعليِ، يؤسّسُ خوارزم الشبكةِ البيانية البلاستيكيةِ نمط الشبكةِ البيانية على هيئة مستطيلات بمقاسات مُخْتَلِفةِ، فصّلت للعناصر والقيودِ الأخرى على البطاقة الإلكترونية المطبوعة. في حد ذاته، عمليات تنسيب العنصر الكثيفة ومباعدة نقط الهبوط الإستثنائيةِ، مثل خارج الشبكة البيانية off-grid، يُسكنُ بسهولة، مع توصيلات إلى مركزِ كُلّ نقاط الهبوط. هذه العمليةِ أبطأ أصلاً أيضاً عن حَلّ الشبكة البيانية grid solution .

موجهات قناةِ Channel routers :

تَخْلقُ الهيئة السطحية للقناة أسطح توجيه مكونة من سلسلة من القنوات التي تَعْبرُ بين الاطراف الدبوسية للعناصر الموضوعة على سطحِ التوجيه. نقاط العبور Vias مَوْضُوعة فيما بين القنواتِ مَستعملُة نفس النمطِ كأطراف العنصر. هذا يَسْمحُ للفراغ المحجوزِ لكل من السلك ونقاط العبور vias.

هناك أيضاً إمكانيات دَمْج الاساليب المذكورة أعلاهِ للفراغ المناسب الإستخدام على سطحِ لوح الدائرة المطبوعة.

5-5-5 التدقيق

Checking:

بعد إكمالِ توجيه الموصلات، تستعمل روتيناتَ التَدقيق لفحص هذا التصميمِ بالكامل بالمطابقة مع حدّودَ المعاييرَ. مثل بارامتراتِ التدقيق هذه يُمكنُ أَنْ تَكُونَ قواعدَ للمباعدة، وتحقيق الحدّ الأدنى لعددِ الفتحات الخلالية المَطْلِية، وقواعد تصميم خاصّة، وقدرة الموصل لحَمْل التيار، وفَتحَ أَو فَصلَ الاطراف الدبوسية، وأخطاء موقعية،.. الخ. الأخطاءَ يشارُ إليها على شاشة العرض بواسطة عملية اللمعان flashing ويُمْكِنُ أَنْ تصحّحَ بتفاعلِ المصممَ.

بعد إكمالِ التصميمِ، يكون بذلك قد تم انتاج العمل الفني.

٥-٥-٥-١ تحقّيق / تدقيق قاعدةِ التصميمِ
Verification/Design Rule Check:

في التصميمات اليدويةِ، كُلّ شيء كان مطلوباً لكي يُدقّقَ كمصدر محتمل للخطأِ. مقاس العنصر ومقاسات الفتحات وأبعاد العرض المختلفة وخلوص الموصلات، ونسبةِ وسادة الهبوط إلى الفتحة، ومساحات اللوح الّتي سَتَكُونُ خالية مِن العناصر، والخلوص بعداً عن الحواف للوح، ودقة الموقع، وبالطبع، التوصيلات البينية الكهربائية كَانَ لِزاماً عليها أَنْ تراجع مَع المزيد مِنْ العنايةِ. لا يَتطلّبُ التصميمُ الآليُ أيضاً أقل إنتباه كالعديد مِنْ أنواعِ التَدقيق المُؤَدّاة بالبرمجيات أثناء دورةِ التصميمَ.

بعد إكْمال تصميمِ البطاقة الإلكترونيةِ المطبوعةِ بمساعدة أداة التصميم بمساعدة الحاسب CAD، يجب أن يتحقق المصمم مرة ثانيةً من لوح الدائرة المطبوعة لكي يَكتشفَ الأخطاءَ. مثل هذا النوعِ مِنْ التحقّقِ/مراقبة لقاعدةِ التصميمِ يستلزم ما يلي:

- التحقّق العامّ؛
- التحقّق الطبيعي؛ و
- التحقّق الكهربائي.

التحقق العام General Verification : التدقيق في التحقّقِ العامّ هو عبارة عن تدقيقات متسعة نفّذت لتَأسيس المتطلبات الأساسية المقابلة بواسطة التصميمِ. تسعى عملياتُ التدقيق للإجابة على الاسئلة التالية :

- هَلْ الدائرة حُلّلتْ وقُسّمتْ إلى المناطقِ الأساسيةِ للتدفق الناعم للاشارة؟
- هل نمط الشبكةِ البيانية الأساسي إستعملَ بالكامل؟
- هَلْ مقاس اللوح وعددَ الطبقاتِ المختارة للتصنيع منخفض التكلفةِ؟
- هَلْ الأبعاد المختلفة للعرض ومباعدة الموصل المُفَضَّلةِ مستعملة وممكنة حيثما كانت؟
- هَلْ مقاسات الوسادة والفتحات المفضلة مستعملة؟
- إذا كان السلك القافذ مستعمل، هَلْ هناك إلتزام بالحَدّ الأدنى؟

- هَلْ المناطق الأكبر مِنْ النحاسِ تَتحطّمُ لمَنْع التَبْثير؟
- هَلْ تم التزُوّدَ بفتحات التشغيل أَم لا؟
- هَلْ المناطق الوهمية dummy areas أدخلُت أينما كانت ضرورية؟
- هَلْ التحجيب إستعمل فعلياً أينما كان ضروري؟

التحقّق الطبيعي Physical Verification : في التحقّقِ الطبيعيِ، عمليات التدقيق تنفذ على تنسيبِ العنصر وإنتهاكات أخرى مُخْتَلِفة مُمَيَّزة. هذا التحقّقِ يُحاولُ إجابة الأسئلةِ التاليةِ:

- هل الطرفيات ومواقعَ التحكم متوافقة مع التجميع الكليّ؟
- هَلْ اللوح المثبت يلبّي متطلباتَ الإهتزازِ والصدمات؟
- هل المعاييرَ المحددة (مثل: IPC 2221, IPC 2222) إستعملتْ؟
- هَلْ الأجزاء غير المستقرة أَو الثقيلة تَحتفظُ ببشكل كافي؟

تُزوّدُ أنظمةُ التصميم بمساعدة الحاسب CAD للتحقّقِ من إنتهاكاتِ التنسيبِ، متضمن ذلك انتهاكات المباعدة بين عنصرين وأخطاءِ التنسيبِ الأخرى مثل إدخالِ الشكل العام أَو قيودِ الشبكةِ البيانية.

التحقّق الكهربائي Electrical Verification:

تخصيص ممرات الإشارات يتبع عموماً نظام الأولويةِ priority system حيث يبْدأُ بإشارة الأولوية الأعلى مثل التي لها المستوى المنخفض وتَتحدرُ إلى تلك الإشاراتِ التي يُمْكِنُ أَنْ تَتحمّلَ حركةَ أعظمَ على الشكل العملي layout. الإشارةَ الأرضيةَ تُوْضَعُ عادة عند الحَدّ الأقصى الخارجي لهيئة الدائرةِ المطبوعةِ لأنها تسْمحُ للتوصيل السهلِ للمسارات العمومية للأرضي الداخلي إلى المسار العمومي الرئيسي. اشارات الأرضي والقدرة الكهربائية هى الأولى لكي تُخصّصَ لضمان الممر الجيد والنظيف لإشارات الارضي. يَجِبُ أَنْ تمر إشارةَ الارضي في مسارات بعرضِ كافي لتحمل المزيد من التيارَ المقصودَة بشكل كافي للوح. في الغالب، تَوضِع إشارات الأرضي والقدرة الكهربائية بين صفوفِ الاطراف الدبوسية للدوائر المتكاملة على جانب عناصر اللوح component side. هذا سَيسْمحُ لكُلّ المسارات المتقاطعة لِكي تَكُونَ على جانبِ توزيع أسلاك اللوح حيث تكون واضحة جداً بعد التَجميع. هذا يَسْمحُ لمهندسِ الخدمةَ إتّباع ممر الاشارة بسهولة أثناء الصيانة.

من المُهمِ تَدقيق التالي مِنْ وجهةِ نظر الإعتباراتِ الكهربائيةِ:

- هل تأثيرات مقاومة، وسعة، وحث الموصل تم تحليلها؟ وهذا يعتبر مهم خصوصاً لإسقاطات الجهد الحرج والارضي.
- هل تصبح مباعدة وشكل الموصل والأجهزةَ متوافقة مع متطلباتِ العزلِ مُعتَبَرة؟
- هل تم تزويد الممانعة المحكومة لترددات الإشارات الأعلى من ١٠٠ ميغاهيرتزِ رقمي و٣٠٠ ميغاهيرتزِ تماثلي ؟
- هَلْ القطبية تُميّزُت بشكل كافي؟
- هَلْ تغير العازل منسوباً إلى تغطية السطح الذي تم تقْيِيمَه؟

الأدواتَ المتوفرة للتَدقيق في الإنتهاكاتِ الكهربائيةِ صمّمُت لتَحقيق التمسّكِ لمعايير المُبَاعَدَة كما أُدرجتْ في برنامجِ جدولة مباعدة التوجيه. أيّ مشكلة وَجدتْ بواسطة انتهاكات مباعدة التوجيه تكون بذلك معرفة.

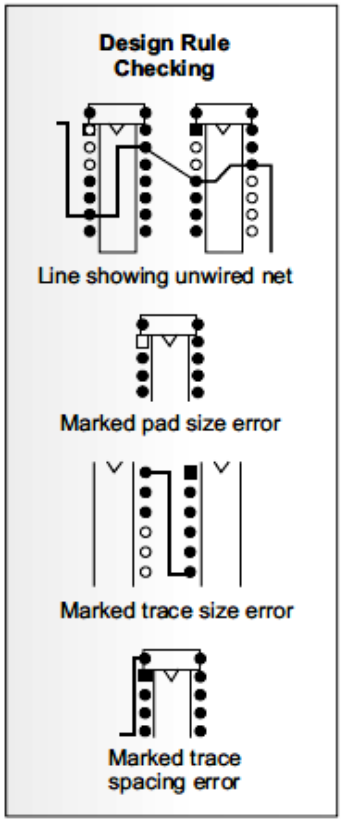
٥-٥-٥-٢ التدقيق في إنتهاكات قاعدةِ التصميمِ

Design Rule Violations Check:

يسمحُ التصميم بمساعدة الحاسب CAD لتنفيذ الرسم التخطيطي والتُدقّيقُ للتوافقِ مع التصميمِ الأساسي والقواعدِ الكهربائيةِ. عملياتِ المراقبة هذه عادة ما تكون أسهل لتدقق إستمراريةِ التحقيق وتَدقيق إنتهاكِ الخلوص. تدقيق الخلوص إتّخذ أهمية كبيرة بسبب التسامحِ الضيّق للعناصر المتقدّمةِ تكنولوجياً. عملياتَ التدقيق التاليةَ تمت:

- المباعدة بين موصل وموصل؛
- المباعدة بين موصل ونقطة هبوط ؛
- المباعدة بين نقطة هبوط وأخرى؛
- فتحة نقطة عبور إلى فتحة نقطة عبور؛ و
- الخلوص الميكانيكي (إلى حافةِ اللوح، حول مقابس اللوح، حول فتحاتِ التشغيل).

تَتضمّنُ عملياتُ تدقيق قاعدةِ التصميمِ الأساسيةِ تَدقيق الوسادةِ للوسادة، الوسادة للمسار، مسار لمسار، ووسادة لثغرات نقطة عبور، كما هو معروض في الشكل رقمِ (٥-٣١).



شكل رقم (٥-٣١) يوضح أمثلة من انتهاكات قواعد التصميم.

٥-٥-٥-٣ خطوط الدليل العامة لتجَنُّب أخطاء التصميم

General Guide Lines for Avoiding Design Errors:

العوامل التالية يجب أنْ تؤخذ بعين الإعتبار لتَجَنُّب أخطاء التَصميم :

- التصميم يَجِبُ أَنْ يكونَ كامل ومقفل الشكل العام للوح. أي تصميم بدون الشكل العام للوح أَو مَع الشكل العام الجزئي فقط، لن يكون صحيحَ ومقبولَ. لا يُمكنُ أَنْ يَكُونَ هناك أكثر مِنْ شكل عام للوح واحد في التصميمِ.

- عند وَضْع عناصر، يجب أنْ يُتْرَكَ بما فيه الكفاية خلوص بين الوسائد الموصولة والشكل العام للوح لتَفادي إنتهاكاتِ المباعدة أثناء التوجيه. توصيلات إصبعِ الحافة Edge finger connections هى الجاني المتكرر في هذا الصنفِ.
- أى وسائد عنصر خارج الشكل العام للوح حيث يتم ربط التوصيلات عليها، سَتَكون مرْفوضُة.
- لا تُحاولْ التقسيمِ الثانوي لمستوي الطبقات مع النحاسِ أو الشكل العام أَو تفاصيلِ حتى بعد التوجيه.

٥-٥-٥-٤ تدقيقات التعريفِ

Identification Checks:

لأجل توثيق وتعريف صحيح، عمليات المراقبة التالية تتم على العمل الفني:

- عدد ألواح الدوائر المطبوعة؛
- عنوان وعدد التجميع؛
- معلومات وعدد التنقيحِ؛ و
- الرقم التسلسلي.

أغلب أنظمةِ التصميم بمساعدة الحاسب CAD قادرة على إداء العديد مِنْ عمليات التدقيق للتصميم متضمنةً تدقيق التوصيل والتدقيق البعدي. يُزوّدُ سائقُ قائمة وصلات الشبكة netlist لأنظمة التصميم بمساعدة الحاسب CAD عادة لأستمرارية دائرة التَدقيق مقابل الشكل العملي والعكس صحيح.

من المشاكلَ الأكثر إلحاحاً والتي تم مواجهتها مِن قِبل المطوّرين ومستعملي برامجِ CAD اليوم هى مقاس وكثافةِ اللوح. مع أغلب الأنظمةِ، يُمْكِنُ لمهندس تصميمِ التغليف أَنْ يَجدَ الطرق للعَمَل حول هذه المشاكلِ بخداع النظامِ، يُغيّرُ الشبكةَ أَو يقُسّمَ اللوح. أيضاً، تصميمات التكنولوجيا الأعلى تَتضمّنُ تصميمات مجموعةَ دوائر تماثلية كثيفةَ جداً مثاليةَ مِنْ السرعةِ العاليةِ الراديوية، وتكنولوجيا الخَطِّ الرفيع، وتكنولوجيا التثبيت السطحيّ، ومجموعة الدوائر المرنة وتصميم فيلمِ سميكِ، تعتبر تحدي كبير لمطوّري برامجِ CAD، وإلى مصممي التغليف الذين يَجِبُ أَنْ يَعْملوا مع وجود أنظمةِ CAD .

٥-٦ أتمتة التصميمِ

Design Automation:

نظام أتمتةِ التصميمِ هو احد النظم التي يؤدي فيها الحاسبُ فعل المصممِ بدلاً مِنْ المساعدْة فقط لمهندسِ التصميمَ. وذلك بسبب الكميات الكبيرةِ للبياناتِ الّتي سَتُعالجُ، ومقدرة الحاسب العاليةالمُسْتَعْملة لهذا الغرضِ.

بينما يعتبر التَصميم بأنظمةِ CAD مثاليُ حيث يحقق فقط حوالي ٨٠-٩٠ بالمائة توجيه موصلات تُنجَزُ آلياً، إلا أن أتمتةُ التصميمِ تؤدي تقريباً ١٠٠ بالمائة توجيه كامل للموصلات. هذا يتم انجازه بواسطة برامجِ التوجيه التكراري التي تَستبدلُ أيضاً سابقاً بالموصلات الموجهة وفتحاتِ العبور. يَتطلّبُ التوجيه التكراريُ زمن معالجة كبيرِ حيث أن هناك خطوة جديدة يُمْكِنُ فقط أَنْ تَبْدأُ بعد المَرةِ السابقةِ التي أكملت. لِذلك، يستعمل فقط حاسبات ذات قدرة معالجة عالية في أتمتةِ التصميمِ.

العديد مِنْ أغلفة الدوائر المتكاملة الرقمية تحتوي بوابات منطقية من إثنان إلى ثمان بوابات مماثلةِ ضمن نفس التغليف. البرامج لا تُحسّنُ فقط موقعَ التغليف على اللوح لكن يُمْكِنُها أيضاً أَنْ تحرّكَ بوابات منطقية مِنْ احد الاغلفة إلى آخرِ لكي يَبقي الطولَ العامَّ للتوصيلات البينية وفتحات العبور عند الحد الادنى. تَشْهدُ المراقبةَ الآليةَ بأنّ سعة المغادرة fan-out للبوابات المنطقية أخذت بعناية.

تُزوّدُ برامجُ أتمتةِ التصميمِ أيضاً ببرامج توجيه الموصل وبرامجِ تنسيبِ العنصر، التي تطوّرُ تصميمَ اللوح بشكل آني على كُلّ الطبقات الموصّلة للوح. هذا يزيلُ إمكانيةُ النمط الكثيف على الطبقةِ الأولى ونمط متناثر أكثر على الطبقة النهائية. هذا المتطلبِ يعتبر مِنْ الأهميةِ الخاصّةِ في تصميمِ اللوح المتعدّدِ الطبقات.

يعتبر موضوع أتمتة التصميمِ من الادوات عالية الكفاءة، خصوصاً عند تصميمِ ألواح الدوائر الثنائية الجانب والمتعددة الطبقات عالية التعقيد مَع عدد كبير مِنْ الدوائر المتكاملة. إذا قورن موضوع الأتمتة الكاملة للتصميم مَع التصميم بمساعدة الحاسب CAD، فإن مرونة النظامِ العامّ في أتمتةِ

التصميمِ تكون محدودة حيث لا تَستعملُ الإبداع البشري الذي ما زالَ أرفع من خوارزمياتِ الحاسبِ. يُمكنُ أَنْ تَكُونَ أتمتة التصميمِ مطبقة بنجاح أينما كانت هذه المرونةِ العاليةِ غير مطلوبةَ والمهمَ هو إتباع توحيد قياسي مُعين، على سبيل المثال كما هو في تصميم النظامِ الرقميِ. التوحيد القياسي في هذا السياقِ يُتعلّقُ بالأشكال العامة الميكانيكية للوح وأنواع العناصر والاغلفة المستعملةً. للتصميمات القياسيةِ، أتمتة التصميمِ يُمْكِنُ أَنْ يُكملُ وظيفة التصميمَ عادة بدون تدخّل بشري. لكن الآن، وفيما بعد الحاجة للتفاعل بواسطة المصممِ ما زالَت مطلوبة، خصوصاً للمهامِ الأكثر تعقيداً.

تعتبر تعديلات التصميمِ ممكنة أيضاً مع أتمتةِ التصميمِ؛ بالمقارنة مع CAD، يكون هناك حاجة لوقت أكثر وأغلى لأن التصميمَ الكاملَ يمكن الحصول عليه. في CAD، التعديلات تنفّذَ يدوياً على شاشة العرضِ التي تعْملُ أكثر بطريقة بسيطة.

من فوائد التصميم بمساعدة الحاسب CAD هو العمل على توثيق الإنتاجِ حيث تم تحسينها إلى أبعد من ذلك في أتمتة التصميمِ. قَدْ تتضمّنُ إمكانيات التقريرِ الهندسي وهو أحد وثائق الإنتاج؛ حساب البوابات المنطقية الإحتياطيةِ وأطراف دبوسية غير مُسْتَعْملة أَو تنسيب حراري.

المشاكلَ الأكثر تحدي تم مواجهتها مِن قِبل مطوّري نظم أتمتة التصميمِ الإلكتروني (EDA) Electronic Design Automation التي قللت مقاس اللوح وعملت على زيادة كثافةِ التغليف. أيضاً، الحاجة لتصميمات التكنولوجيا الأعلى تَتضمّنُ مجموعةَ دوائر تماثلية كثيفةَ جداً لتصميمات نموذجية عالية التردد وعالية السرعة، وتكنولوجيا الخَطِّ الرفيع، وتكنولوجيا التثبيت السطحيّ ومجموعةِ الدوائر المرنةِ هى أيضاً بعض مِنْ المشاكلِ الملحّةِ التي تُواجهَ مِن قِبل مطوّري النظامَ ومصممي لوح الدائرة المطبوعة. ويَكْمنُ إبداع المصممِ في تمويل الطرقِ للعَمَل حول وإيَجِادُ الحلولَ بتَغيير الشبكةِ البيانية أَو تقسّيمَ اللوح، .. الخ.

عدد مِنْ الشركاتِ الآن تَبِيعُ أنظمةَ برمجِيات PCB-EDA بشكل تجاري. هذه البرمجيات تتشابه جميعها في مميزّات مماثلة، وبعض الإختلافاتِ الصغيرةِ هنا وهناك.

٥-٦-١ كيف نحكم على أنظمة CAD ؟

How to Judge CAD Systems؟

هناك عدد ليس بقليل مِنْ أنظمةِ التصميم بمساعدة الحاسب CAD متوفرة ومن الصّعبِ جداً إخْتيارَ النظام الصحيح الذي نحتاجُه. البرامج البسيطة المبكّرة التي أجريت على الحاسبات الشخصية أصبحتْ متطوّرةَ جداً الآن. ومن أمثلة هذه البرامجِ Smartwork، Protel-CAD CAD P-CAD STAR, and Eagle. والبعض مِنْ آخر إصدارات أنظمة CAD أصبحت جديرة بالثناء عليها. وهى تتضمّن:

_ Mentor Expedition 2000;
_ Cadence Allegro V13.6;
_ Innoveda Power PCB V3.6; or
_ even much cheaper system like EDW 2000.

من المهام القياسيةَ لأى برنامج هو: إلتقاط الشكل التخطيطيَ، والمحاكاة، والمكتبة، والتنسيب، والتوجيه الآلي، وما بعد المعالجة والتوثيق. وعليك أن تقيّمْ كُلّ من هذه المهام.

لوح عيني Demo Board : تفادى اللوح العيني. فهو سهلُ جداً ولا يُمثّلُ العالم الحقيقي وسَيَبْدو في هيئة جيّدة دائماً. إستعمل اللوح الذي قمت بتصميمه كمقارنة.

رخصة العينةِ Demo Licence : هذه أفضل طريقِة لتَقييم منحنى التَعَلّم، لكنها سَتجْعلُك تبدد الوقت الأقصى لتَقييم الأداةِ والبحث عن كَيفية المكاملُة مع بيئتِكَ.

التداخل الكهرومغناطيسي EMI ، والحرارة، والهندسة، والقيود التكنولوجية الأخرى : بَعْض القضايا مثل التردد الراديوي، التداخل الكهرومغناطيسي، والهندسية والحرارية والقيود التكنولوجية الاخرى في أغلب الأحيان تتم بأفضل الطرق في الأنظمةِ التي تَتخصّصُ في مثل هذه المواضيعِ.

الموجه الآلي Auto-router : النسبة المئوية مِنْ الإكمالِ وكميةِ الوقتِ المأخوذ لإكْمال التوجيه يُمكنُ أَنْ يَكُونا مستعملان كمعيار للحُكْم على البرامج التي لَها الموجه الأفضلُ، بشرط أن تكون النوعية مماثلةُ.

النظـام المتـري Metric-system : هَلْ البرمجيـات حقـاً متوافقـة ١٠٠ بالمائـة متريـاً؟ يميـل كافـة المصممين وصناع العناصر إلى إسْقاط نظامِ القياسِ الإنجليزيِ وإعتناق النظامَ المتريَ.

المكتبة Library: هل مكتبةَ العناصر، مزوّدَة مِن قِبل بائعِ البرمجَيات، في الغالب نجدها تحتوي أجزاء قديمة وخارج التاريخ بدون توثيقِ داعمِ؟

ما نَوْعِ المعلومات التي تتَضمّنها المكتبةِ؟ المكتبة الجيدة يَجِبُ أَنْ تلبي كُلّ متطلبات التصنيع مثل:

عائلات العناصر	هندسة العناصر
التوثيقِ	التفاوتات
الشكل العام للشاشة الحريرية	آلات البحث وحلقات الربط
اتفاقية التَسْمِية	خَلْقِ العناصر
علام القطبية	التثبيت وفتحات التشغيل
الإنتقال إلى الوحداتِ المتريةِ	انماط نقاط الهبوط

وصلة مواجهة المعاييرِ Standards Interface : هناك وقت عندما نَحتاجُ مواجهة قياسية مثل "Gencam". افحص إذا كانت برمجيات CAD متوافقة مع Gencam استيراد وتُصدّيرُ .

٥-٧ اليدوي مقابل الأتمتةِ في تصميمِ اللوح المطبوع

Manual Versus Automation in PCB Design:

القرار للدُخُول للأتمتةِ في تصميم لوح الدائرة المطبوعة وانتاج العمل الفني، وإلى أي مدى، يعتمدُ على عدد مِنْ العواملِ. كُلّ طريقة لَها منطقتُها عن طريق هل هي يُمْكِنُ أَنْ تُبرّرَ كطريقة تفضيلِ.

التصميم اليدوي وانتاج العمل الفني

Manual Design and Artwork Generation:

هى طريقة مفضّلة للألواحِ الأسهلِ مثل ألواح الدوائر المطبوعة أحادية الجانب أَو ثنائية الجانب. يُمْكِنُ أيضاً أَنْ يستخدمَ بنجاح لدوائر أعلى تعقيداً في كمياتِ الإنتاجِ منخفضة الكمية. التصميم اليدوي يقدم مرونة عاليةِ ويعطي كُلّ الإمكانيات للإبداعِ البشري. على أية حال، الألواح الرقمية ذات التعقيدِ العالي، خصوصاً الالواح التي تتضمن أكثر مِنْ ١٠٠ دائرة متكاملة تعتبر صعبة التصميم يدوياً. التقييدات الأخرى للطرقِ اليدويةِ تَتعلّقُ بالجودة، والزمن والحاجة إلى متدربين.

أتمتة التصميم Design Automation:

الأتمتةَ الكاملةَ للوح الدائرة المطبوعة وإنتاج العمل الفني هى أداة ثمينة عن طريق قيود الدخل التي يُمْكِنُ أَنْ تُوحّدَ وتُتحوّلَ لعدد أصغر مِنْ قواعدِ النظرةِ البسيطةِ. وهى أداة مرغوبة لتصميمِ الألواحِ الرقميةِ المتطوّرةِ جداً بأكثر مِنْ ١٥٠ دائرة متكاملة، ولألواحِ متعددةِ الطبقات المعقّدةَ عن طريق صعوبتها الشديدة، حتى لمهندس تصميمِ مجرّبِ، لإبْقاء نظرة عامّةَ مضبوطةَ على التصميمِ. هنا الزمن الكلي للتصميم يُمْكِنُ أَنْ يُخفّضَ مِنْ عِدّة أسابيع إلى بضعة أيام بينما هو يعطي نتائج أقرب للمثالية. جدول التسليمِ المحكم مهمُ لعدد كبير من تصميمات ألواح الدوائر المطبوعة بينما بشكل آني الحاجةَ لإعادة التنصت والتصحيح يَجِبُ أَنْ يَكُونَا أدنى، يعتبر CAD في أغلب الأحيان الاختيار المفضل. رسم العمل الفني الآلي يُزوّدُ أيضاً عمل فني أكثر دقّةً عن الرسم أو الشريط اليدوي.

أتمتة التصميمِ عادة لَيستْ مستعملةَ لألواح الدوائر المطبوعة التماثلية analog PCBs لأنه من الصعب تَخفيض قيود التصميمِ المُخْتَلِفةِ للمدى الأوسع مِنْ البطاقات الإلكترونيةِ التماثلية إلى قائمة قواعد وجهة النظر كما هي تُعْمَلُ عادة بالبطاقات الإلكترونيةِ الرقميةِ.

الإستثمار الرأسمالي الكبير إلى وسائلِ CAD سَيَدْعو دائماً إلى الإستخدام الكامل للنظام. CAD يُمْكِنُ أَنْ يَكُونَ مُبَرَّر بالكاد للألواحِ بأقل مِنْ ٢٠ دائرة متكاملة رقمية، مع محتويات عنصر مفرد أكثر مِنْ ٥٠ بالمائة أَو حيث أنَّ عدد صغير جداً فقط من ألواح الدوائر المطبوعة عادة مطلوبة مثل هذه التصميمات.

٥-٨ الراسم الضوئي

Photoplotter:

البيانـاتَ الرقميـةَ المعالجـة مِـنْ أنظمـةِ CAD تُحـوّلُ مـرة أخـرى إلـى الرُسـوماتِ بواسـطة وسـائل الفوتوغرافيا بمساعدة جهاز يسمي الراسم الضوئي 'photoplotter'. في هذا الجهاز، رأس الرسم التى هى عبارة عن مصدر إسقاط بقعةِ ضوئية light spot projector يقوم بتغيير موقعَه النسبيَ نحو وسطِ الرسم الذي يكون عبارة عن الفيلم الفوتوغرافي. بالإعتِماد على تصميمِ الراسم الضوئي photoplotter، رأس الرسم أو طاولة الرسم أَو كلاهما يعتبرا أجزاءَ متحركة.

أي راسم ضوئي photoplotter، كما يَدْلُّ الاسمُ، عبارة عن راسم يقوم بعملية الكتابة بإستعمال الضوءِ ووفقاً لذلك يَجِبُ أَنْ يكُونُ ذات أداة مُبَرمَجة حيث تُستَعملُ والممر الّذي سَيُتبع لرسم المسار trace. للراسم الضوئي photoplotter، وسائلَ تشغيل مشكلة خصوصاً فتحاتَ التي خلالها يَعْبُرُ الضوءَ لخَلْق الشكل المعطى على الفيلمِ. أى فتحة يُمْكِنُ أَنْ تُستَعملَ بدون حركةِ لعمل شكل أَو بالحركةِ لعمل خَطّ أَو قوس.

هناك نوعان رئيسيان من الرواسم الضوئية photoplotters، هما vector" و'raster' (أَو ليزر). كُلّ هذه الأنواعِ تُعالجُ فتحاتُ بشكل مختلف. النوع vector photoplotter أَصْبَحَ ملغيَ تقريباً وإستبدلَ بالنوع laser photoplotter. تشتغلُ الرواسم الليزرية أسرعِ بكثير مِنْ النوع vector machines. على سبيل المثال، الرسمة المعقّدة تتَطلّب زمن بالساعاتَ. على الماكينة vector machine يُمْكِنُ أَنْ تَكُونَ مؤداة عادة في عشَر دقائق أَو أقل على laser photoplotter. هذا النقصانِ في الوقت الكاملِ أسقطَ أيضاً تكلّفَة الرسم الضوئي photoplotting إلى حدٍّ كبير. يَتضمّنُ الراسم الضوئي photoplotter ثلاث ميزّاتِ رئيسيةِ هى:

- رأس راسم ضوئي photoplotting head ، التي تجيءُ مَع مجموعة من الفتحاتِ؛
- فيلمِ الرسم؛ و
- البرمجيات.

الفوائد الرئيسية للرسم الضوئي photoplotting بالمقارنة مع الرسم بالقلمِ pen plotting؛ هو أن جودة الخَطَّ هى الثبات والحدّةَ والدقة. ليس هناك أقلام لطَفْر أَو تَجفيف. رأس الرسم الضوئي

photoplotting لديها أكثرُ مِنْ ٢٤ فتحةِ تَسْمحُ للمستعملِ أَنْ يَكُونَ لديه عِدّة أبعاد مختلفة لعرض الخَـطِّ وأشـكالِ الوسـادةِ. وسـوف نسـرد بعـض التفاصـيل لإثنـان مِـنْ أنـواعِ الرواسـم الضـوئية photoplotters فيما يلي (Ward، 1992):

٥-٨-١ راسم الضوء الموجه

Vector Photoplotter:

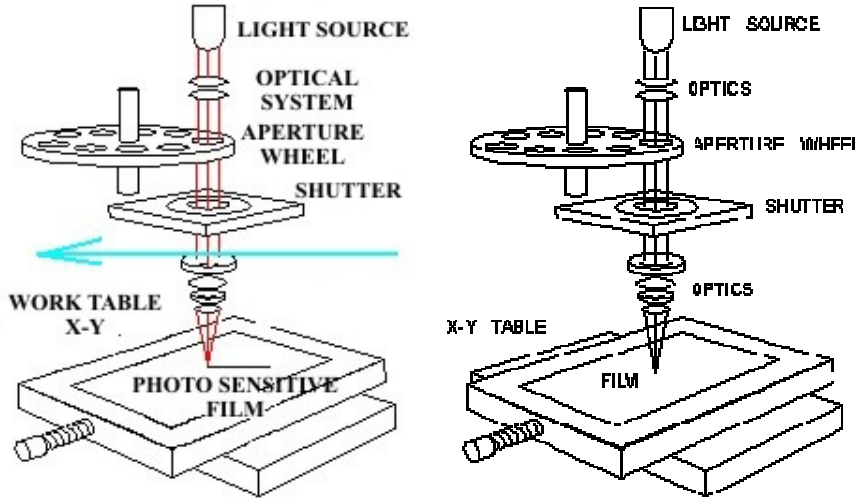
الماكينـات الموجهـات المحكومـة عـددياً بالحاسـب تنـتج رسـم ضـوئي photoplots بواسـطة تحـرك رأس إسقاط عبر شريحة الفيلمِ الفوتوغرافي. عندما يكون ثابت، فإن رأس الإسقاط يُمْكِنُ أَنْ "تومضَ flash " مصـدر الضـوء لتصـوير وسـادة أَو هـدف مـن أيّ شـكل ثابـت. عنـدما تتحـرك، فـإن رأس الإسقاط يُمْكِنُ أَنْ "تسحبِ draw " خطوط الدائرة بتَرْك مصدرِ الضوء مفتوح.

روؤس الاسقاط التي يستخدمها الراسم الموجهَ متطوّرة ميكانيكياً ولذا المقاس وشكل الضوءِ الساقط يكون تَحْتَ يكون مسَيْطَرَ عليه بإستعمال الفتحاتِ. هذه الفتحاتِ يُمْكِنُ أَنْ تكون أمّا ثابتة أَو متغيّرة.

عجلات الفتحات Aperture Wheels: تقليدياً، نسخة أصلية للرواسم الضوئية photoplotters للراسم القلمي حيث لـه عجلـة الفتحـات. عجلـةَ الفتحـات هـى عبـارة عن قرص بـه ٢٤ أو ٧٠ فتحـةِ تصَطفَّ بشكل شعاعي على طول المحيط. عندما يَختارُ photoplotter فتحةً، فإن عجلة الفتحات تُدارُ لوَضْع الفتحـة المطلوبـة بين مصدرِ الضوء والفيلمِ. الفتحـات هـى قطـع نفسـها مِنْ الفيلمِ ويُمْكِنُ أَنْ تصنع إلى أيّ شكل يطلّبَ، مع ذلك عملياً، هذه العملية مضيعة للوقت وهناك تقييد طبيعي في المقاس.

فتحات السحبَ والوميضَ Flash and Draw Apertures : لكي يُنجزَ تعرّضَ ثابتَ للضوء على راسم الموجهات vector photoplotter، فإن الفتحـات المستعملة لتوميض الوسائد يتم ترشيحها بشكل مختلف عن تلك المستعملةِ لرسم المسارات. لذا، فإن فتحات الوميض والسحبِ لا يُمْكن أَنْ تُستَعملَ بشكل متبادل بدون خطرِ التعرّضِ المحليِ أكثر من اللازمِ والتعرّض الغير كافي.

إعدادَ عجلةِ الفتحةِ هى العمليةُ المضيعة للوقتُ حيث كُلّ فتحة في العجلة يَجِبُ أَنْ تَثبت يدوياً وتضبط. لكي يَتفادى تكلفَة الإعدادِات المتكرّرةِ، هناك مصممون لَهُم مورد راسم ضوئي hotoplotting يحفظ العجلة في الملفِ ويُجبرُ دائماً لإستعمالُ تلك المجموعةِ نفسها من الفتحات. هذا لَهُ عوائقُ واضحةُ، كلاهم من ناحية مرونةِ التصميمِ وسهولةِ الهجرةِ إلى باعةِ آخرينِ.



Vector photoplotter

شكل (٥-٣٢) يوضح مكونات راسم الضوء الموجه

٥-٨-٢ الراسم بأشعة الليزر

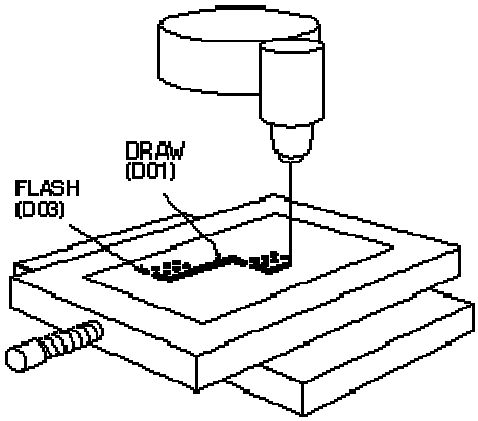
Raster (Laser) Plotter:

في اسلوب الرسم بأشعة الليزر laser raster plotting، الأوامر التي سَتُنفّذُ تَقْرأُ بالكامل إلى وتترجمَ مِن قِبل معالج الصورة الراستر raster قَبْلَ أَنْ ترسمه الماكينةَ. عادة RIP تقوم بتُصنّيفُ الأوامرُ إلى بعضِ الشكل الوسيط الذي من ثمّ يكون معالجَ في الوقتِ الحقيقيِ لإنْتاج تدفق من أوامر الوصل والفصل إلى معدل الليزر modulator.

يُنتجُ راسم الليزر raster plotter الصورَ كسلسلة لنقاطِ صغيرة جداً تَجمّعتْ (كالعنقود) سوياً لتَشكيل الخطوطِ والوسائد مدعوة مِنْ ملف راسم الموجهِ vector plotter file . عموماً النقاط

الأصغر (نقاط شاشة pixels)، تعطي أفضل صورة. أيضاً، هى قاعدة عامة ان النقاط الأصغرِ للشاشة، هى الأطول لأْخذُ الراسم للتخطيط.

يتطلب موضوع العناصر سطحية التثبيت هندسة ونوع واسع التغير مِنْ الوسائد. هناك طريقتان من التَعَامُل مع هذا المتطلبِ على أنظمةِ CAD. عندما نحتاج للعديد من أشكال وسائد مختلفة، احد الإختيارات هو تعرّيف رمز لكُلّ شكل. الطريقة الاسهل والاكثر إقتصاداً لإنْتاج العديد من اشكال الوسائد هو تعريف الفتحة aperture لكل شكل.



Laser photoplotter

شكل رقم (٥-٣٣) يوضح راسم الضوء الليزري

نتيجةً لذلك، هناك عاملان أدّيا إلى زوال الرواسم الموجهة vector photoplotters. كثافات التصميمِ المتزايدةِ والرسم الضوئي photoplotting للصورِ المتعدّدةِ المَخْطُوةِ stepped multiple images التى زاد المطلب على الرسم الضوئي إلى النقطة حيث أصبحت الرواسم سريعة بشكل هائل. تحت هذه الشروطِ، ليس هناك مفاجأةَ بأن الرواسم الليزرَية نجحت. ومن الأسهل بكثير أن تجعل شعاع الليزرِ يمسح sweep عن أن تجعل أداة ماكينة CNC تتحرّك move.



Raster photoploter

شكل رقم (٥-٣٤) يوضح راسم الضوء الليزري

قوائم الفتحةِ Aperture Lists : بينما إستعمال تعبير "فتحةِ" لوَصْف استمرار شكل الوسادة أو المسار، فإن تعبير عجلة فتحةِ aperture wheel تُستَبدلُ الآن بالتعبير " قائمة الفتحةِ aperture list ". الفوائدُ التالية مهمةُ بقوائمِ الفتحةِ للرواسم الليزرية:

- أشكال الفتحةِ يُمْكِنُ أَنْ تُولّدَ بسهولة في البرمجيات، هذا يُزيلُ الحاجةَ لتَصميم العجلة الطبيعية.
- أشكال الفتحةَ يُمْكِنُ أَنْ تُوْصَفَ في ملفِ Gerber، إذا كان هناك دعم لصيغ جربر الممتدة Gerber. هذا يُخفّضُ فرصَ الحصول على القائمةِ الخاطئةِ.
- المزيد من الفتحات يُمْكِنُ أَنْ تُعرّفَ على القائمة.
- مقاسات الفتحاتِ الجائزةِ هى نموذجياً (لكن لَيستْ دائماً) أعظم مِنْ تلك المَفْرُوضةِ بالأبعاد الطبيعية لعجلةِ الفتحةِ.

٥-٨-٣ التعامل مع الرواسم الضوئية

:Talking to Photoplotters

إنّ المعيارَ الواقعيَ لبياناتِ الراسم الضوئي photoplotter هى صيغةُ جربر Gerber، وهى معروفة أكثر بشكل صحيح بالمصطلح RS-274D. يُشيرُ التعبيرُ جربر Gerber إلى شركةِ جربر للأجهزة العلمية، الرائدة في صناعة الرواسم الضوئية. تَتضمّنُ امتدادات جربر المفضلة والشائعة ("RS274X" and MDA FIRE AutoPlot، كل منهم يُتضمّنُ معلوماتَ قائمةِ الفتحةَ في الملفِ). RS-274D هى إختلاف على لغات تشغيل ماكينات السيطرة العددية التقليدية Numerical Control (NC). وهى تختلفُ عن صيغِ السيطرةِ العدديةِ التقليديةِ (وبمعنى آخر: بيانات التثقيب).

شفرات D : شفرات D لَها وظائفُ متعدّدةُ. الأولى هى التحكم في حالة الضوء لأن يكون شغال on أم غير شغال off. الشفرات الصحيحة لحالةِ الضوء هى D01, D02 and D03.

D01— الضوء شغال للحركة القادمةِ.

D02 — الضوء غير شغال للحركة القادمةِ.

D03— وميض (الضوء شغال، الضوء غير شغال) بعد التحرّكِ.

شفرات D بالقِيَمِ مِنْ ١٠ أَو أكبر تُمثّلُ موقعَ الفتحةَ في القائمةِ أَو العجلةِ. D10 وقِيَم أعلى لَها أشكالُ وأبعادُ فتحةِ خصّصتًا إليها بواسطة كُلّ مستعمل فردي. على سبيل المثال، في شغلةِ واحدة، D10 يُمكنُ أَنْ تكُونَ ١٠ mil دورةِ ، بينما الشغلة الأخرى D10 يُمكنُ أَنْ تكُونَ ٤٠ mil مربع.

الشفرات X and Y : قيم X and Y في ملفِ Gerber تحدد أين يكون شكلَ وبعد الفتحةَ سَيَوضِعُ ويرسم. قيم X and Y مستعملة كأزوج إحداثي للتَحديد أين سيكون الضوء مكشوف، بإستعمال D codes للأشكالَ (وبمعنى آخر: D10) وحالة التعرّضِ للضوء (وبمعنى آخر: D01, D02, D03) لرسم الخطوطِ والأقواسِ، بالإضافة إلى الإنتقال بين الكياناتِ المرسومة.

شفرات G : شفرات G تُستَعملُ لتَشكيل الراسم الضوئي photoplotter. الشفرات المُطَبَّقة عموماً تَتضمّنُ:

G01 — Future X, Y commands are straight-line moves;
G02 — Future X, Y commands are clockwise arcs;
G03 — Future X, Y commands are counterclockwise arcs;
G04 — Ignore the rest of this block (used for comments);
G54 — Prepare to change apertures (not necessary in laser photoplotters);
G74 — Future arcs are quadrant arcs;
G75 — Future arcs are full 360 arcs, allowing for a single command to draw a complete circle;
G90 — Absolute data: the controller will move to the absolute value given by the X and Y value; and
G91 — Incremental data: the machine will move the data by the amount of the X and Y value, whether then to the absolute coordinate point.

الشفرات M : الشفرات M مستعملة للتحكم في الماكينةِ. من الشفرات المستعملةَ عموماً هى:

M00 — Full machine stop, commonly ignored by many plotters;
M01 — Temporary machine stop, commonly ignored by many plotters; and
M02 — End of plot.

لكي ننفذ تصميمات CAD التي تكون قابلة للاستخدام المباشر بأنظمةِ CAM ، يجب توريد الرسومات أمّا في صيغة جربر Gerber، أو HPGL ، أو DXF أو شكل نسخة مطبوعةِ hard copy form . هذا الرسم مستعملُ كإسناد أثناء عمليةِ التصنيع ويَجِبُ أَنْ، يُزوّدُ بأبعادَ اللوح بالإضافة إلى مقاس وموقعِ أيّ توجهات داخلية. مواقع فتحةِ المثقابِ سويّة مع مخطط فتحةِ hole chart يَجِبُ أيضاً أَنْ يُتضمّنَ. من المهم أن أيّ فتحة خلالية غير مطلية non-plate through-holes (NPTH تكون مميزة بشكل واضح.

٥-٩ معايير مفيدة :
:Useful Standards

- IPC-2531: Standard Recipe File Format (SRFF) Specification: Outlines the requirements that an SRFF file must meet; describes the file format, outlines the file sections and indicates how data should be represented through objects which can either be vendor-independent or specific.
- IPC-2547: Sectional Requirements for Shop Floor Equipment Communication Messages (CAMX) for Printed Circuit Board Test:

Describes event message content and an XML encoding scheme, which enables a detailed definition of messages in the domain of electronics inspection, test and repair § rework i.e. product and process quality.

- IPC-2571: Generic Requirements for Electronic Manufacturing Supply Chain: Defines an XML encoding scheme to facilitate supply chain interactions; the scheme is defined for bill of materials, approved manufacturer list, changes in engineering, manufacturing or product.
- IPC-2511-A: Generic Requirements for Implementation of Product Manufacturing Description Data and Transfer Methodology: Identifies the generic requirements for implementation of product manufacturing description data and transfer; helps users to transfer design requirements and manufacturing expectations from computer-aided design systems to computer-aided manufacturing systems for printed board fabrication, assembly and test.
- IPC-2511B: Generic Requirements for Implementation of Product Manufacturing Description Data and Transfer XML Schema Methodology: Specifies the XML scheme that represents the data file format to describe printed boards for tooling, manufacturing, assembly inspection and testing requirements.

تمارين

١. ماهى الفائدة من عملية المبادلة Swapping في برامج تصميم الشكل العملي للوح الدائرة المطبوعة ؟

٢. ما هو الفرق بين تصميمِ اللوح المطبوع يدوياً وتصميمه بطريقة كاملة الأتمتةِ ؟

٣. بعد تشغيل الموجه لتنفيذ تصميم الشكل العملي للوح الدائرة المطبوعة، ماهى نسبة الإكمال التي قام بتنفيذها الموجه، أذكر كيف تصرفت للوصول إلى شكل عملي بنسبة ١٠٠%؟

٤. أذكر أنواع الموجهات routers المستخدمة في برمجيات تصميم الشكل العملي للوح المطبوع؟

٥. هل تنفيذ العمل الفني اليدوي حيث إمكانيات الانسان الخارقة أدق من تنفيذه آلياً؟

الباب السادس

برنامج تصميم الدوائر المطبوعة
PCB Software

الباب السادس

برنامج تصميم الدوائر المطبوعة
PCB Software

٦-١ مقدمة :

هذا البرنامج والمعروف بـ :

" محرر تصميم الدوائر المطبوعة سهل التطبيق "

Easily Applicable Graphics Layout Editor

حيث أخذت الحروف الأولى لكلمات العبارة السابقة لتكون كلمة النسر وبالتالي عرف ببرنامج EAGLE. وهو َيغطّي استعمال محرّرِ الشكل التخطيطي Schematic Editor، و محرّر الشكل العملي للوح المطبوع Layout (Board) Editor، و موجه المسارات الآلي Autorouter. وسوف يقودك هذا البرنامجِ بطريقة طبيعية، حيث البداية مع محرر الدائرة التخطيطية ثم العمل خلال تصميم (الشكل العملي) لوح الدائرة المطبوعة وتوجيه المسارات النحاسية آلياً autorouting. وسوف تستفيد أكثر بالتجول خلال كل مكونات البرنامج.

في المقام الأول يَجِبُ أَنْ تَكُون ملماً بإمكانيات استعمال الوظائف الأساسيةِ لنظام تشغيل حاسبك. فهناك مصطلحات نظام التشغيل ومكونات النوافذ سَتَكُونُ مستعملة بدون الإشارة إلى طريقة استخدامها. وبمجرد أَنْ يكتمل إطلاعك على هذا وظائف هذا البرنامج سوف تكون قادراً على البَدْء بالعَمَل في أي مشروع لتصميم الدائرة المطبوعة لدائرة ما. وبينما تقوم بإخراج التصميمات الأوليةَ، على أية حال، يَجِبُ عليك استعمال وظيفة طلب المساعدة help function من آن لآخر و

تصفح هذا الكتاب للتَعَلّم أكثر حول تفاصيلِ معيّنةِ ومطلوبة. عند هذا فقط سَتَكُونُ قادراً على اكتساب الفائدةِ الكاملةِ من قدرات البرنامج المتعددة.

٦-٢ لماذا تم اختيار هذا البرنامج:

لا يخفي على القارئ أن اختياري لهذا البرنامج جاء نتيجة لذكاء القائمين على تسويق هذا البرنامج حيث يتوافر على موقع تسويق البرنامج على شبكة المعلومات الدولية نسخة من البرنامج بإمكانيات محدودة يطلقون عليها النسخة الخفيفة للدعاية للبرنامج كما يوجد معها الكتالوجات الخاصة بشرح تشغيل هذا البرنامج مما يعطي الفرصة للقارئ أن يقوم بتحميل أو إنزال هذه النسخة مجانا وممارسة العمل عليها بمساعدة هذا الكتاب.

هذا من ناحية ومن ناحية أخرى فإن هذا البرنامج يعتبر من البرامج الصناعية ذات الملفات المطلوبة في مراحل تصنيع الدوائر المطبوعة فآثرنا أن يكون لدى القارئ بعداً آخر يضفى عليه المقدرة في فهم مخرجات هذا البرنامج لخدمة مراحل إنتاج الدوائر المطبوعة.

٦-٣ درجة تأهيل مستخدم البرنامج :

يجب على مستخدم هذا البرنامج أن يكون مؤهلاً للعمل عليه. فيشترط عليه أن يكون قد قطع شوطاً ليس بقليل في دراسة العناصر الإلكترونية والتكنولوجيات المختلفة المستخدمة في تصنيعها. و كذلك أن يكون على دراية بالنظريات الكهربائية وكذا نظريات الدوائر الإلكترونية.

وفي مجال التجميع الإلكتروني يجب أن يكون ملماً بقواعد التصميم و التجميع وأن يكون لديه حس فني عند إرساء قواعد التصميم والتجميع للأجهزة الإلكترونية. فالكثير ممن ليس لديهم أدنى فكرة عن فن التجميع الإلكتروني يقعون في أخطاء فادحة. (اقتني كتاب " تكنولوجيا الورش الإلكترونية وكتاب تكنولوجيا التثبيت السطحي للعناصر الإلكترونية وكتاب صناعة ألواح الدوائر المطبوعة:مرحلة ما قبل التجميع " لنفس المؤلف)

ونظراً لأن هذا البرنامج يختص بعملية تصميم لوح الدائرة المطبوعة، فلا يجب بالمرة تخيل أن الدائرة التخطيطية المرسومة أو المطبوعة على الورق هى كلها بل وكل عناصرها يجب أن تثبت على لوح

الدائرة المطبوعة وهذا يؤدي بك إلى الوقوع في الخطأ الفادح. ففي هذه الدائرة التخطيطية ربما يوجد عنصر لابد أن يثبت على واجهة الجهاز لغرض التشغيل و بالتالي يكون له تكوين ميكانيكي يمكنه من التثبيت والتشغيل على واجهة الجهاز. أو أن يكون هناك عنصر كبير الحجم والوزن مثل محول القدرة الكهربائية المستخدم في دوائر التغذية لأى جهاز إلكتروني، هذا المحول لا يمكن تثبيته على لوح الدائرة المطبوعة .

وعلى ذلك عند قراءة الدائرة التخطيطية الموجودة على الورق يجب تنقيتها من كافة العناصر التي لها تثبيت مستقل خارج لوح الدائرة المطبوعة. حيث يتم رفعها خارج الدائرة التخطيطية ويعاد رسم الدائرة التخطيطية مرة أخرى على محرر الشكل التخطيطي واستبدال العناصر المرفوعة بوسائد أو مقابس تمكننا بعد ذلك من التوصيل السلكي بين هذه الأطراف على اللوح وبين العناصر المرفوعة و المثبتة في واجهة الجهاز أو في أى مكان آخر بكابينة الجهاز.

٦-٤ المصطلحات الفنية Technical Terms :

في هذا البرنامج يتم استخدام بَعْض المصطلحات الفنية، يَجِبُ على مستخدم البرنامج التعرف عليها جيداً حتى يمكنه التعامل مع هذا البرنامج دون الوقوع في خطأ الالتباس و تداخل المعاني الفنية وهى كما يلي :

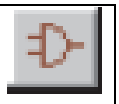
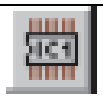
الكائن الرسومي Object :

وهو عبارة عن جميع الأشكال المستخدمة في المكتبات والدوائر التخطيطية والدوائر المطبوعة، من أسلاك وعناصر وأقواس ونقاط لحام...الخ.

نبيطة Device:

هو التعريف الكامل للعنصر في مكتبة العناصر بالبرنامج (يمكن أن يشتمل على عدد من الوظائف المتماثلة–مثلاً عدد من البوابات المنطقية ذات النوع الواحد ...). التعريف الكامل لأي عنصر هو النبيطة حيث يشمل التغليف package و الرمز البياني symbol. جاءت الكلمة تصغير لكلمة نبطة (استنباط) و معناها أداة تحتوى على تركيبة داخلية من وظائف متماثلة وتقوم بوظيفة معينة ومثال على ذلك الدائرة المتكاملة 4011 فهى تتكون من أربعة بوابات منطقية NAND –الرمز لها

هو رمز البوابة المفردة NAND –أما النبيطة فهى الدائرة المتكاملة المتكونة من أربعة بوابات – والتغليف هو شكل الدائرة المتكاملة من الخارج و بيان أطرافها الدبوسية والأشكال التالية تعطي المعنى :

 الرمز Symbol	 التغليفPackage	 النبيطة Device

الرمز Symbol:

التمثيل البياني للعنصر المستخدم في الشكل أو الرسم التخطيطي (النظري)، وهو مخزن في مكتبة البرنامج. وتصميم هذا الرمز يعطي معنى مختصر لوظيفة العنصر.

التغليف Package:

هو شكل وحجم المجسم العملي لعنصر عند أحد مساقطه الهندسية أو هو شكل أثر القدم (شكل توزيع أطراف الهبوط للعنصر – أو شكل توزيع الوسائد للعنصر) وتخزن هذه الأشكال في مكتبة البرنامج. وهو الشكل العملي الذي يظهر به العنصر على سطح لوح الدائرة المطبوعة أو الذي يظهر به من ناحية المسارات والوسائد النحاسية.

مجموعة نبائط Device Set:

تتضمن مجموعة مِن النبائط التي تَستعملُ نفس الرموزِ البيانية في الدوائر التخطيطيةِ إلا أن لَهُا تغيرات في التغليف أو في تكنولوجيات التصنيع المختلفة.

الدائرة التخطيطية(النظرية) Schematic circuit:

هي الدائرة النظرية التي يستخدم فيها الرموز البيانية symbols فقط للعناصر الإلكترونية والأجزاء الكهربائية، ومنها نستطيع قراءة وظيفة الدائرة والتعرف على العناصر .

الشكل العملي للوح الدائرة المطبوعة Printed circuit board, Layout :

هو الدائرة التنفيذية أو العملية أو الصناعية للدائرة التخطيطية. و هي عبارة عن لوح على إحدى وجهيه أو على كلاهما طبقة نحاسية يتم تشكيلها لتأخذ شكل مسارات التوصيل للدائرة التخطيطية. و

يتم توصيل أطراف أغلفة Packages العناصر الإلكترونية الحقيقية على نقاط لحام على الواجهة النحاسية تسمى وسائد pads.

السلك الهوائي Airwire :

هو عبارة عن توصيل غير موجه Unrouted connection مطاطي الصفة، يستخدم في مرحلة بداية تنفيذ لوح الدائرة المطبوعة كتوصيل مؤقت بين عناصر الدائرة المطلوب تنفيذها حيث يمكن القائم بالتصميم من تحريك العناصر و ترتيبها داخل حيز اللوح. وتظهر هذه الخطوط في صورة سلوك هوائية مطاطية حيث يمكن أن تتقاطع. كما تظهر هذه الخطوط الهوائية في الطبقة الغير موجهة Unrouted layer (= الخاصية المطاطية).

موجه توصيل المسارات الآلي Autorouter :

وهو الإجراء الذي يتم لتوجيه توصيل المسارات النحاسية بصورة أمثل في لوح الدائرة المطبوعة و التي تناظر توصيلات الدائرة التخطيطية.

توجيه توصيل المسارات النحاسية Routing:

و هي الوظيفة التي يقوم بها البرنامج لتحويل الأسلاك الهوائية المتقاطعة، في محرر تخطيط الدائرة المطبوعة، إلى مسارات نحاسية غير متقاطعة. ويمكن أن تتم هذه العملية يدوياً، باختيار الأسلاك واحداً تلو الآخر وتحويلها، أو باستخدام معالج توجيه التوصيل الآلي Autorouter.

فحص الارتباط(الاتساق) Consistency Check :

يجب أن تكون الدائرة التخطيطية (الشكل النظري) ومخطط لوح الدائرة المطبوعة (الشكل التنفيذي) لدائرة ما مترابطين بشكل صحيح، وذلك تمهيداً لتحقيق خاصية الملاحظات التفسيرية للأمام & للخلف: Forward & Back Annotation. وهذا الترابط يعني وجود تكافؤ في العدد بين أجزاء وعناصر الدائرة التخطيطية والوصلات من جهة، وبين عناصر وإشارات الدائرة المطبوعة من جهة أخرى.

رمز حلقي Annulus Symbol :

حلقة العزل التي ترسم في طبقة التغذية أو في المساحة المملؤة بالنحاس.

ثقب العبور Via :

هو عبارة عن ثقب مطلي من الداخل لتغيير طبقة مسار (لربط مسار في طبقةٍ إلى مسار في طبقة أخرى) . راجع أيضاً ثقب العبور الدقيق micro via، ثقب العبور المستور blind via، و ثقب العبور المدفون buried via.

ثقب العبور المستور Blind Via :

هو عبارة عن ثقب مطلي من الداخل لربط مسار في طبقةٍ إلى مسار في طبقة أخرى ويبدأ من طبقة القمة أو طبقة القاع ولا يمر خلال كُلّ الطبقات (ليس ثقباً نافذاً للوح الدائرة المطبوعة) في عملية الإنتاج للوح الدوائر المطبوعة المتعدد الطبقات.

ثقب العبور المدفون Buried Via:

هو عبارة عن ثقب مطلي من الداخل، ويقوم بتوصيل طبقتين داخليتين inner layers أو أكثر ولا يصل الطبقات الخارجية (القمة والقاع) ولا يمكن رؤيته من أحد جوانب لوح الدائرة المطبوعة، ولا يصل كل الطبقات في كل اللوح.

ثقب العبور الدقيق Micro Via :

ثقب مطلي من الداخل (مثل ثقب العبور المستور) بقطر ثقب صغير نسبياً حيث يقوم بتوصيل الطبقة الخارجية مع الطبقة الداخلية التالية.

اللب Core :

هى طبقة عازلة يثبت على وجهيها طبقتين من النحاس أو طبقة واحدة على أحد وجهيها ويستخدم هذا المصطلح مع تنفيذ ألواح الدوائر المطبوعة المتعددة الطبقات.

الطبقة الرغوية العازلة Prepreg:

و هى طبقة عازلة رغوية (لاصقة بفعل الحرارة و الضغط)-(أو هى ألواح من الألياف الزجاجية المنقوعة في مادة لاصقة جزئياً) تقوم بالربط بين مجموعات اللب (مجموعة اللب = لب +طبقة أو طبقتان من النحاس على أحد الأوجه أو على الوجهين) أو بالمعنى العام تقوم بالربط بين طبقات لوح الدائرة المطبوعة متعددة الطبقات .

فحص قاعدةِ التصميمِ : Design Rule Check (DRC)

يُمْكِنُ لبرنامج EAGLE أَنْ يحدد حالات انتهاك بَعْض قواعدِ التصميمِ للوح الدائرة المطبوعة (ومثال على ذلك: –إذا حدث وتداخل اثنان من المسارات المختلفة أَو اقتربا جداً من بعضهما) بالقيام بتطبيق قواعد التصميم الصحيحة على الرسم و لفت الانتباه لأي مخالفة.

فحص القاعدةِ الكهربائيةِ : Electrical Rule Check (ERC)

يُمْكِنُ لبرنامج EAGLE أَنْ يحدد حالات انتهاك بَعْض القواعدِ الكهربائيةِ (ومثال على ذلك: – إذا تم توصيل مخرجين للدائرة معاً) وذلك بقيامه بالفحص للقواعد الكهربائيةِ الصحيحة والتنبيه عن أي خطأ يحدث. ويمكنه أيضاً فحص أتساق أو ترابط الشكل التخطيطي (النظري) وتخطيط لوح الدائرة المطبوعة (الشكل التنفيذي أو العملي أو الصناعي).

التثقيب أو الثقب Drill:

تنفيذ التثقيب خلال لوح الدائرة المطبوعة (في الوسائد pads و ثقوب العبور vias) أو تنفيذ ثقوب (مطلية) خلال طبقات موصولة معاً للوح دائرة مطبوعة متعددة الطبقات.

فتحة Hole:

ثقب غير مطلي في تخطيط لوح الدائرة المطبوعة. (ومثال على ذلك: – فتحة أو ثقب تثبيت شيء في اللوح أو تثبيت اللوح في الكابينة).

الملاحظات التفسيرية للأمام & للخلف : Forward & Back Annotation

للبرنامج إمكانية تحويل كل الأفعال التي تتم في الدائرة التخطيطية (النظرية) على خط ساخن بينها و بين تخطيط لوح الدائرة المطبوعة (الشكل التنفيذي–العملي الصناعي) (و بالتقييداتِ مِنْ تخطيطِ لوح الدائرة المطبوعة إلى الدائرة التخطيطيةِ). كلا الملفين متسقان و مترابطان طول الوقت .

البوابة Gate:

يستخدم مصطلح البوابَة في هذا البرنامج للتعبيرَ عن جزء من العنصر يُمْكِنُ وَضعَه بشكل منفرد على الشكل التخطيطي. وهذا يُمكنُ أَنْ يَكُونَ أحد بوابِات الدائرة المتكاملة TTL، أو زوج من نقط تماس متمم (مرحل أو مجدد Relay)، أو مقاومة منفردة من مصفوفة مقاومات.

إرتصاص (تكدس) الطبقات Layer Stack :

هو عملية رص طبقات اللوح المطبوع من الطبقات العازلة و الموصلة و الرابطة المستخدمة لبناء لوح الدائرة المطبوعة.

الوسادة (نقطة اللحام) Pad :

و هى عبارة عن نقطة لحام أو مكان لحام طرف العنصر على الطبقة النحاسية للوح الدائرة المطبوعة سواءً المثقبة منها (THM) أو غير المثقبة (SMD) .

إزاحة الثقب عن مركز الوسادة Breakout :

هو التسجيل الرديء بين الثقب والوسادة على لوح الدائرة المطبوعة للدرجة التي يكون فيها الثقب ليس في مساحة الوسادة النحاسية.

الطرف الدبّوسي Pin :

هو عبارة عن نقطة اتصال على الرمز البياني للعنصر المستخدم في الشكل التخطيطي.

توزيع الثقوب Rack :

جدول بإحداثيات الثقوب يستخدم مع ماكينات الثقب. و هو مطلوب لتَوليد بيانات الثقب.

حساب الأطوال الأقصر للخطوط الهوائية Ratsnest:

هو أمر حِساب أطوال الخطوط الهوائية الأقصرِ airwires و تنفيذها.

الطوق النحاسي Restring:

المحافظة على عرض حلقة النحاس حول ثقب الوسادة أو العبور المطلي من الداخل.

الحلقة المتبقية Annular Ring :

هى المساحة النحاسية المتبقية من الوسادة بعد ثقبها.

الإشارة Signal:

مسار التوصيل الكهربائي للإشارة في لوح الدائرة المطبوعة.

رمز التغذية Supply Symbol:

يُمثّلُ إشارة تغذية في الدائرة التخطيطية. حيث يتجاوب معها الفحص للقواعد الكهربائية ERC.

لغة المستعملِ User Language:

لغة تشبه لغة السي وهي قابلة للبرمجة بحرية لاستيراد وتصديرِ البياناتِ.

فتحة طباعة ضوئية Aperture :

هو وصف لشكل و مقاس أداة تستخدم في طباعة الوسادة أو المسار. و قد استنتج هذا المصطلح الفني منذ أيام الرواسم الضوئية vector photoplotters ، حيث كان يعرض الفيلم الحساس لضوء الشمس من خلال فتحات بأشكال معينة موزعة على محيط قرص حيث عرف باسم " عجلة الفتحات aperture wheel "

كل فتحة تناظر تشفير D مختلف في بيانات جربر (بيانات صناعية تقوم بتشغيل ماكينات CNC). و اليوم تستخدم الرواسم أشعة الليزر الدقيقة في الطباعة على الفيلم الحساس و لكن مازال المصطلح Aperture يستخدم حتى يومنا هذا.

العجلة Wheel :

ملف ترتيبِ الفتحات في لوح الدائرة المطبوعة. وهى تعرف ببياناتِ جربر Gerber data وتستخدم في مرحلة التصنيع للوح .

قائمة الفتحات Aperture List :

هى عبارة عن قائمة بمقاسات وأشكال لوصف الوسائد والمسارات المستخدمة لإنشاء طبقة من طبقات اللوح المطبوع.

الوصلات الشبكية Net:

عبارة عن مسارات التوصيل الكهربائي في الدائرة التخطيطية.

المسار العمومي Bus:

هو المسار الذي يضم عدد كبير من التوصيلات الكهربائية المتجاورة. وعادة يستخدم في خطوط نقل البيانات Data أو خطوط العناوين Address....الخ.

السلك Wire:

هو عبارة عن التوصيل الكهربائي في لوح الدائرة المطبوعة، أَو عبارة عن خَطّ هندسي (حيث أن الخطوطِ يتم رسمها بالأمر WIRE).

المسار النحاسي Track :

هو المسار النحاسي الناتج من عملية تشكيل الطبقة النحاسية للوح الدائرة المطبوعة. ويتوقف عرض هذا المسار على قيمة التيار المار فيه وعلى ذلك يوجد منه أنواع. و يتم تخطيط و توجيه هذه المسارات إما يدوياً أو آلياً بواسطة الموجه الآلي.

عناصر التثبيت السطحي Surface Mount Devices (SMD) :

وهى التكنولوجيا الأحدث لصناعة وتجميع العناصر الإلكترونية، حيث يمكن تصنيع كافة العناصر بهذه التكنولوجيا سواءً المقاومات أو المكثفات أو الترانزستورات أو الدوائر المتكاملة ..الخ. وتمتاز هذه العناصر بصغر حجمها مقارنة بالعناصر التقليدية.

لوح طباعة ضوئية Artwork :

هى أداة ضوئية تستخدم لإنشاء الطبقات المختلفة خلال مراحل تصنيع ألواح الدوائر المطبوعة.

اللوح العريان Bare Board :

هو لوح الدائرة المطبوعة الذي تم الانتهاء من تصنيعه ولكن لم يتم تجميع ولحام العناصر عليه "أقرأ كتاب صناعة ألواح الدوائر المطبوعة : مرحلة ما قبل التجميع، لنفس المؤلف".

اللوح الخام Board :

هو اللوح الذي لم يتم تشكيل مساراته ووسائده بعد.

المادة الأساسية Base Material :

هى المادة العازلة المستخدمة كبنية تحتية Substrate أو كقاعدة إنشائية foundation لشكل توصيلات الدائرة المطبوعة.

طبقة النحاس الأساسية Base Copper :

هو الطبقة النحاسية الرقيقة الملتصقة على سطح المادة الأساسية والتي يتم تشكيلها بشكل المسارات والوسائد المعبرة عن توصيلات الدائرة الالكترونية. يمكن أن يلصق طبقة نحاس أساسية واحدة على أحد أوجه المادة الأساسية أو على كلا وجهيها.

فاتورة المواد Bill of Materials (BOM) :

هى عبارة عن وثيقة تتضمن : عدد الأجزاء والكميات المطلوبة ووصف العناصر والقيم والنوع أو المقاس، والمسمى المرجعي للصانع أو الشركة.

النموذج الأولي Prototype :

النموذج الأولي لأى دائرة أو جهاز هو إجراء كل خطوات التصنيع والتجميع لوحدة واحدة لدراسة أسهل السبل واستكشاف المشاكل التي قد تقابلنا في عملية التصنيع. بعد نجاح تصنيع وتجميع النموذج الأولي يمكن تصميم خط إنتاج وتجميع هذه الدائرة أو الجهاز في زمن قياسي.

التقنطر Bridging :

هو تكون مادة اللحام بين المسارات أو الوسائد مسببةً قصر في الدائرة.

الشطف Chamfer :

هو تشكيل الأركان للتخلص من الحواف الحادة.

المسافة البينية (المباعدة) للموصل Conductor Spacing :

هى المسافة بين المسارات على لوح الدائرة المطبوعة.

الممانعة المحكومة Controlled impedance :

هى العملية التي تعطي الدائرة قيمة الممانعة الصحيحة. سوف يحدد مهندس التصميم ممانعة المسار المطلوبة. وعلى ذلك، سوف يتم اختيار الإنشاء الصناعي المناسب عند عرض مسارات مناسب ومسافات بينية للطبقة في التصميم لكي تتوافق مع الممانعة المطلوبة

الدائرة الإلكترونية Electronic Circuit :

هى عبارة عن مجموعة عناصر كهربية والكترونية تم التوصيل بينها لتكوين مسار مقفل أو أكثر لأداء وظيفة كهربية أو إلكترونية مرغوبة.

لوح الدائرة مفرد (أحادي) الجانب Single-sided board :

هو عبارة عن لوح الدائرة المطبوعة ذو الطبقة النحاسية المفردة على أحد جانبيه.

لوح الدائرة مزدوج (ثنائي) الجانب Double-sided board :

هو عبارة عن لوح الدائرة المطبوعة ذو الطبقتين النحاسيتين على كلا جانبيه، ولا يتضمن طبقات داخلية inner layers.

لوح الدائرة متعددة الطبقات Multilayer board :

هو عبارة عن لوح الدائرة المطبوعة ذو الطبقات النحاسية المتعددة، و يتضمن طبقات داخلية inner layers.

جدول التثقيب Drill Table :

هو وصف لمقاسات الثقوب المستخدمة لإنشاء لوح الدائرة المطبوعة. الثقوب تكافئ قائمة الفتحات aperture list .

المرادف للوسادة Flash=pad :

و هو مصطلح آخر لكلمة pad أتى منذ أيام الرواسم الضوئية vector photoplotters، حيث كان يتم رسم المسارات، وكان يتم توميض الوسادة. راجع تعريف الوسادة.

بيانات جربر Gerber Data :

هى نوع من البيانات تتكون من أوامر بيانية graphic، عادة تصف كيفية رسم صورة الدائرة. وهى مخصصة لتوجيه الراسم الضوئي photoplotter، وهى صيغة أكثر شيوعاً لنقل البيانات من نظم تصميم الدوائر المطبوعة بمساعدة الحاسب PCB CAD إلى العمليات الصناعية. وبيانات جربر هذه تم تسميتها تجارياً بالمسمى RS-274-D (بدونembedded aperture codes) و RS-274-X (مع embedded aperture codes)

مستوى أو مسطح الأرض Ground Plane :

كتلة المعدن الكبيرة نسبياً على لوح الدائرة المطبوعة تستخدم كأرض كهربية أو حجاب.

الطبقة الداخلية Inner Layer :

هى عبارة عن الطبقات الداخلية لألواح الدوائر المطبوعة المتعددة الطبقات وهى دائما ملتصقة بطبقة اللب العازلة. هذه الطبقات يمكن أن تستخدم كطبقات مسارات tracks أو مسطحات أرضية ground plane .

الطبقة الخارجية Outer Layer :

هى عبارة عن طبقتى القمة Top و القاع Bottom لألواح الدوائر المطبوعة المتعددة الطبقات. هاتان الطبقتان تستخدمان دائماً كطبقات مسارات tracks.

نمط الهبوط Landing Pattern :

وهى عبارة عن مجموعة الوسائد الموصولة بالدائرة المطبوعة والمهيأة لمقابلة أو لتوصيل الأطراف الدبوسية للعنصر المراد ربطه على الدائرة المطبوعة. وهى عادة مستخدمة في تثبيت العناصر السطحية.

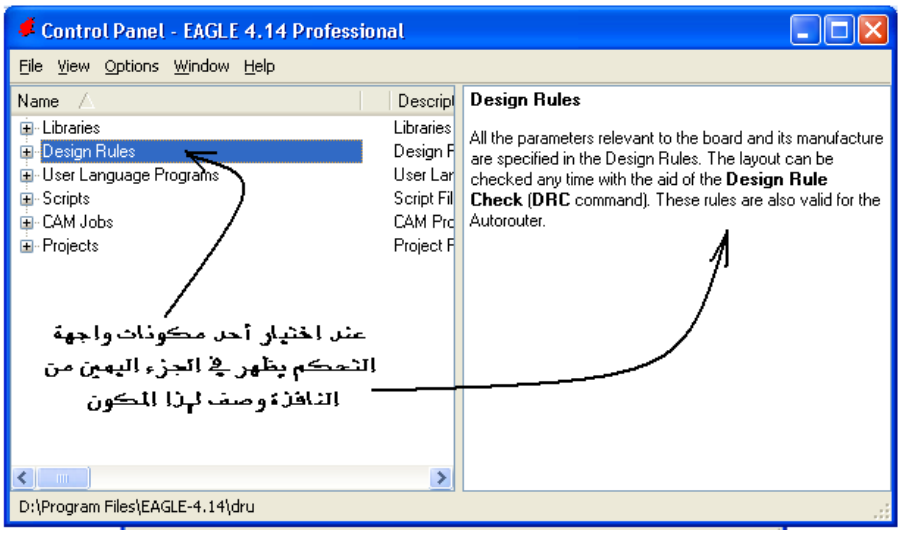
الراسم الضوئي Photoplotter :

هو عبارة عن آلة تقوم بتوليد الصور الفوتوجرافية بتوجيه شعاع ضوئي محكوم يتعرض له مباشرة مادة حساسة للضوء (الفيلم الحساس) على سطح الطبقة النحاسية.

٦-٥ واجهة التحكم Control Panel

و هي الخطوة الأولى في تعلم برنامج تصميم الدوائر المطبوعة. بعد بَدْء تشغيل برنامج EAGLE، سَتُفتح واجهة التحكم Control Panel وهى تعتبر مركز تحكم البرنامج. حيث يتم ترتيب كُلّ الملفات المنسوبة إلى برنامج EAGLE فيها، كما ويمكن أيضاً تجهيز بَعْض الإعدادات الأساسيةِ هنا. وواجهة التحكم هذه تشابه نظرية عمل مدراء الملفات الشهيرةfile managers والمستخدمة من قبل تشكيلة عريضة من التطبيقات ونظم التشغيل في البرمجيات. حيث يتم عرض كُلّ ملفات برنامج EAGLE في شكل تفريع شجري. هذا التفريع يسْمحُ لك بتحميل وتسجيل المشاريعَ بالإضافة إلى إعدادِ بَعْض معاملات البرنامجِ.

تقدم نافذة واجهة التحكم أيضاً نظرة عامّةَ لبرامج لغةِ المستعمل User Language Programs (ULP)، وملفات المخطوطة Script، و شغلات أو وظائف صناعية بمساعدة الحاسب CAM jobs. ومع اختيارُ المداخلَ المُخْتَلِفةَ سَتحْصلُ على الجانب الأيمن من نافذة واجهة التحكم على وصفِ للحالة التي تم اختيارها كما بالشكل (١) .



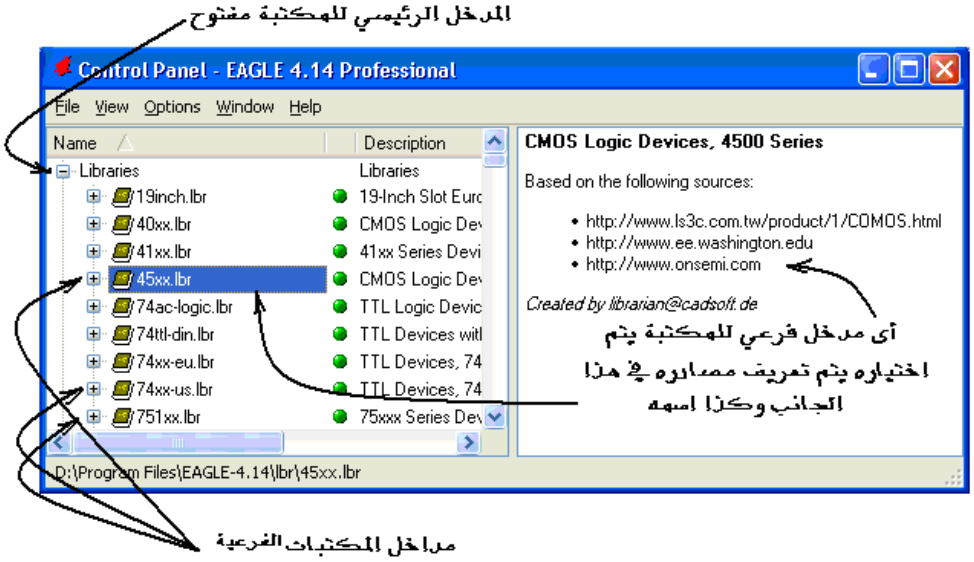
شكل (١) يوضح وظيفة واجهة التحكم

المكونات الرئيسية لواجهة التحكم :

١	المكتبات	Libraries
٢	قواعد التصميم	Design Rules
٣	برامج لغة المستخدم	User Language Programs
٤	المخطوطات أو النصوص	Script
٥	وظائف التصنيع بمساعدة الحاسب	CAM jobs
٦	المشاريع	Projects

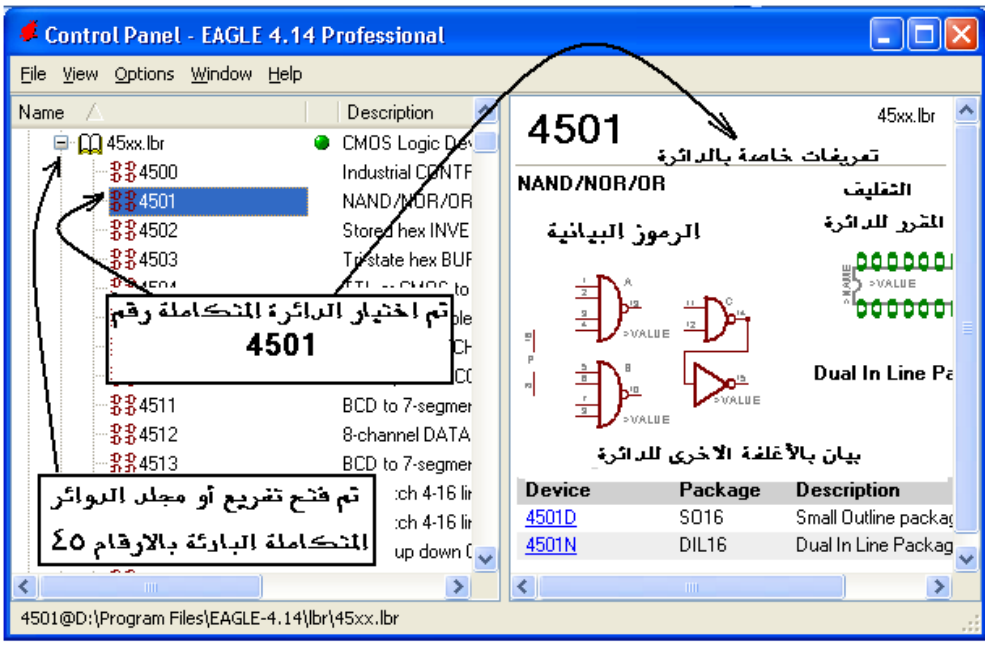
٦-٥-١المكتبات Libraries

تعتبر مهمة إظهار محتويات المكتبة هامة جداً. حيث يعطي هذا نظرة سريعة للبحث عن العناصر المتاحة. عند الرغبة في الوصول إلى عنصر معين،يجب النقرْ عند مدخل المكتبة الموجود فيها. حيث يتم فتح أفرع المكتبةَ، فتتمكن من رؤية محتوياتها المتاحة. في الجانب الأيمن من نافذة واجهة التحكم يمكنك الاطلاع على وصف ملخص عن العنصر المحدد على أحد أفرع أو مجلدات المكتبات.



شكل (٦)

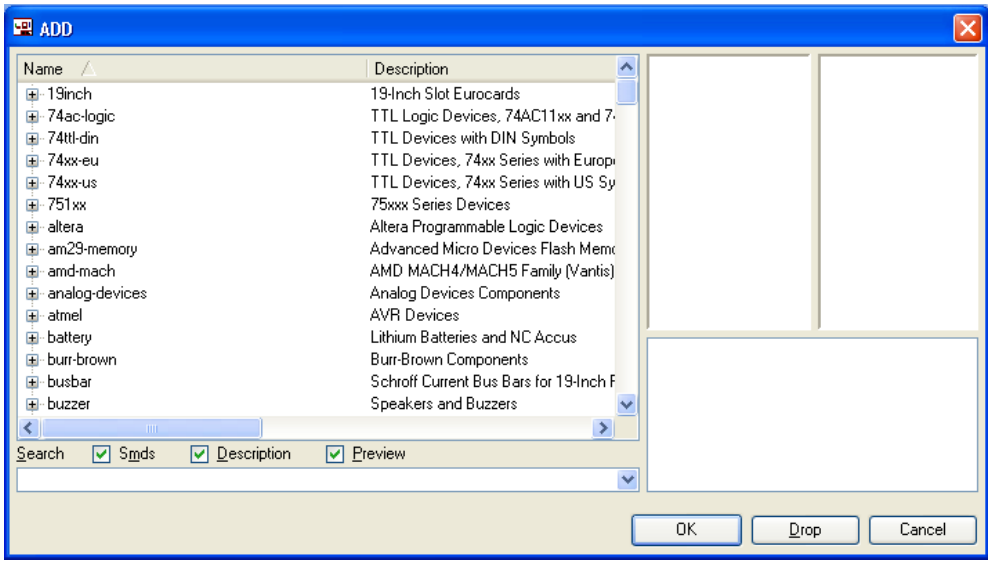
الآن إذا قمنا بفتح المدخل الرئيسي للمكتبات بأن قمنا بالنقر على علامة (+) بواسطة الزر اليسار للفأرة سنحصل على تفريعات أو مجلدات ثانوية أو فرعية بعائلات عناصر مختلفة كما بالشكل (٦) . وإذا قمنا بتحديد أحد هذه المكتبات الفرعية أو أحد عائلات العناصر ، فسوف يظهر على الجانب الأيمن من نافذة واجهة التحكم بيانات لتعريف هذه العائلة مثلاً : مصادر هذه المعلومات و تكنولوجيا الصناعة والقائم على إعداد هذه المعلومات.



شكل (٧)

و إذا قمنا بفتح أحد هذه المكتبات الفرعية أو أحد عائلات العناصر ، فسوف يتم إسدال كافة عناصر هذه العائلة وإذا تم تحديد أحد هذه العناصر مثل الدائرة المتكاملة 4500 فإنه يظهر على الجانب الأيمن من نافذة واجهة التحكم بيانات لتعريف هذه الدائرة المتكاملة من ناحية: الرمز البياني ، و التغليف ، و بيانات عن عناصر أخرى بنفس الرقم و لكنها تختلف مع بعضها في بعض المواصفات كما يتضح بالشكل (٧).

ومن ناحية أخرى،إذا تم فتح نافذة محرر الشكل التخطيطي، وتم النقر على الأيقونة ADD سوف تظهر نافذة ADD كما بالشكل (٨) التالي، قم بالنقر على علامة (+) لأحد عائلات العناصر بالمكتبات الفرعية كما بالشكل (٩)، يتم إسدال عناصر المكتبة الفرعية، قم باختيار أحد عناصرها ثم انقر الزر موافق OK بنفس النافذة. عندها يتم ارتباط العنصر الذي تم اختياره بالمؤشر طالما كان المؤشر متحرك على مساحة رسم محرر الشكل التخطيطي كما بالشكل (١٠).

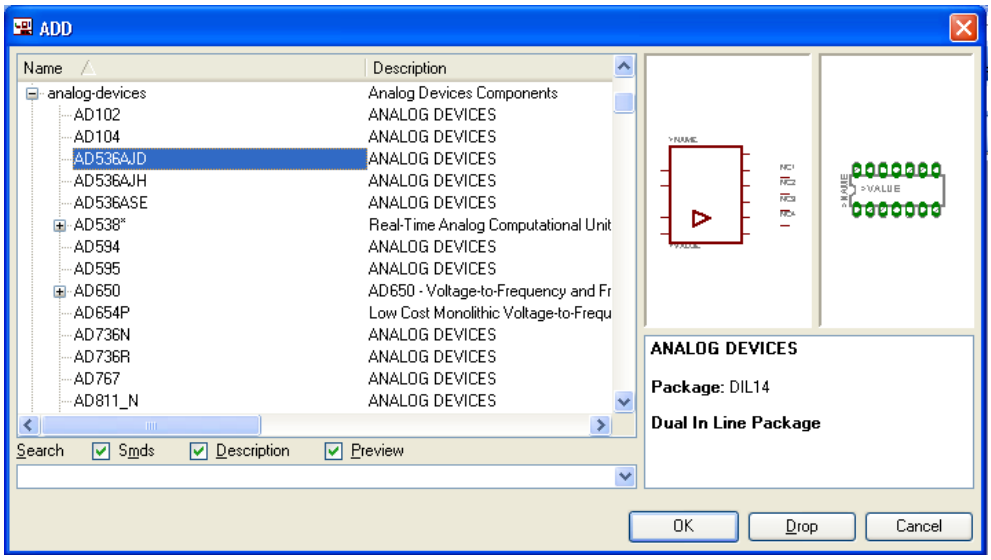


شكل (٨)

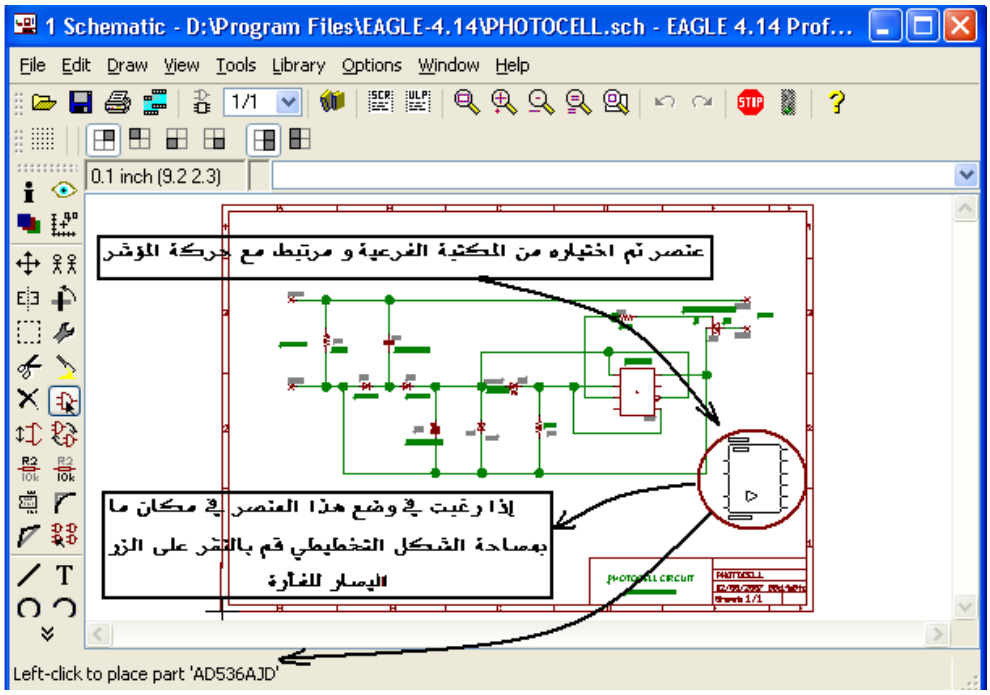
يمكنك من خلال نافذة الإضافة ADD أن تحدد رغبتك في بيان:

- عناصر التثبيت السطحي Smds
- وصف العنصر المحدد في المجلد Description
- رؤية مبدئية Preview

والبحث Search عن أى عنصر بكتابة أسمه المتفق عليه بالبرنامج في نافذة الكتابة.



شكل (٩)



شكل (١٠)

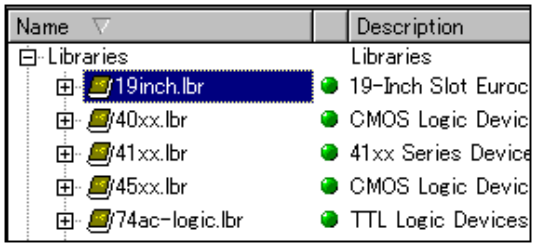
إنّ العلامةَ الخضراءَ المستديرة و الموجودة في مؤخرة مداخل المكتبات الفرعية تُشيرُ إلى أَن هذه المكتبات قيد الاستعمال. وهذا يَعْني بأنّها يُمْكِنُ أَنْ تستَعملَ في المشروعِ الحاليِ. العناصر في هذه

المكتبةِ سَتَفْحصُ بوظيفةِ البحثَ من صندوق حوارِ Add في الشكل التخطيطيِ أَو شكل اللوح المطبوع. وهذا يَجعلُها في متناول المشروع. أى مكتبة لَنْ تدخل عملية الفْحَصُ إذا كانت العلامة المستديرة خلفها رماديُة اللون.

إذا قمت بالبدء في تشغيل برنامج EAGLE بدون مشروع (ليس هناك ملف eagle.epf يمكن قراءته،حيث من المحتمل إغلاق المشروع قبل مُغَادَرَة برنامج EAGLE آخر مَرّة) وقمت بعمل مشروع جديد (File/New/Project) فإن كُلّ المكتبات سَتَكُونُ قيد الاستعمال آلياً. على أية حال، القيام بفتح مشروع موجود فعلاً، حيث أن بَعْض المكتبات قيد الاستعمال فقط قبل تشغيل مشروعِ جديدِ،فإن هذا سوف يهيئ هذا الاختيار.

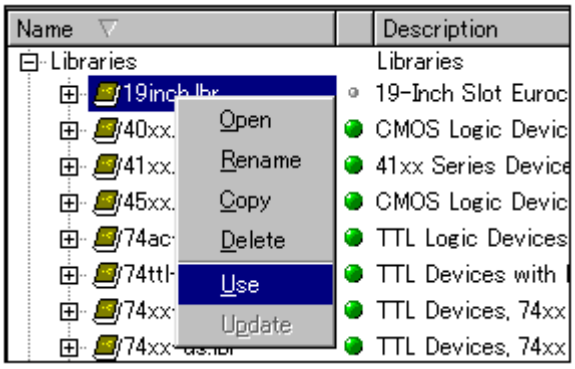
إذا كانت نافذةِ محرّرِ المكتبةَ مفتوحةُ يُمْكِنُك أَنْ تَسْحبَ وتضع مجموعة كاملة من العناصر أو من تعريفات الأغلفة من واجهة التحكم إلى نافذة المكتبة. بهذه الطريقة يمكنك النسخ من أحد المكتبات إلى الأخرى .

يجدر بالذكر أن الكثير مِنْ بياناتِ العنصر سجّلتْ في المكتبات. لذلك يُمْكِنُك أَنْ تُشيرَ إلى المحتويات التي تم تسجيلها متى قمت بالنْقرُ على العلامة (+). هذه المكتبةِ تُستَعملُ متى قمت بإنشاء أو فتح نافذة الرسم التخطيطي. في هذه الحالةِ،تكون المكتبة مشار إليها مِنْ نافذةِ الرسم التخطيطي.



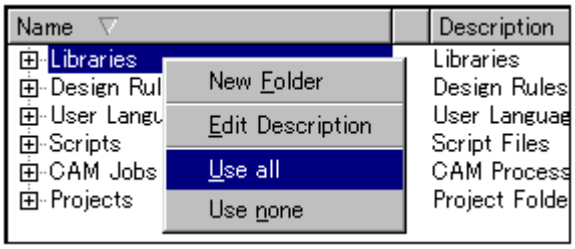
شكل (١١)

الشاشة المعروضة في الشكل (١١) تظهر عند فتح أي مكتبة . و يجب أن نلاحظ أنّ النقطةَ المهمةَ هي العلامة الخضراء. هذه العلامةِ توضح شرطَ صلاحية استعمال المكتبةِ.



شكل (١٢)

إنّ عددَ المكتبات هائلُ. ويصبحُ التشغيل معقداً عند جْعلها كُلّها فعّالة. في هذه الحالةِ،تكون المكتبة عاجزَة عند إزالة علامةَ الفحص من أمر "الاستعمال Use " بالقائمةِ التي تظهر بالنْقرُ على الزر اليمين على اسم المكتبةِ. عند إزالة علامةَ الفحص لأمر "الاستعمال Use "، فإن العلامةِ الخضراءِ تتحول إلى الدائرةِ الصغيرةِ الرماديةِ كما بالشكل (١٢).



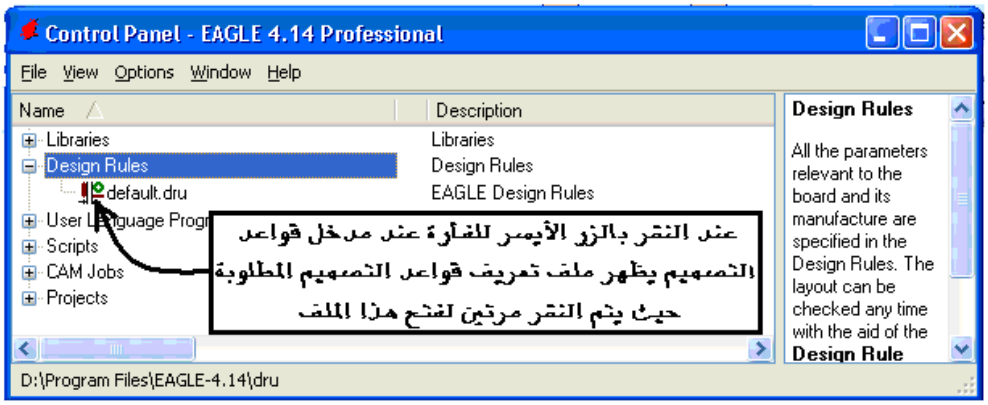
شكل (١٣)

عند جْعلُ كُلّ المكتبات قابلة للاستعمال، يَتم اختيارُ أمر اَستعمال الكُلّ" Use all من القائمةِ المَعْرُوضةُ عند النْقرُ على المكتبات بواجهة التحكم بالزر اليمين للفأرة. تُصبحُ كُلّ المكتبات صالحة للاستعمال كما بالشكل (١٣).

٦-٥-٢ قواعد التصميم Design Rules

هناك قواعد تصميمِ خاصّةِ تم تُحدّيدَها في برنامج EAGLE لمراجعة تصميمِ اللوحةَ تحت التصميم والحُكْم عليها. هذه القواعد يُمْكِنُ أَنْ تسجل كمجموعة بيانات تصميم في ملفاتِ خاصّةِ تأخذ الامتداد

(.dru*) كما بالشكل (١٤). وَضعَ المعامل parameter الذي يستخدم في الحْكمَ على المشروعَ الحاليَ يتم تحديده في جزء قواعد التصميمُ من شكل التفريع (المجلدات) كما بالشكل (١٥). إذا لم يكن هناك بياناتَ خاصة تم التزُوّد بها لقواعد التصميمَ (DRC command)، فإن برنامج EAGLE نفسه يُقوم بالتزوّيدُ بالمعاملات القياسية. التَأشير إلى يمين مدخل الملفَ يُحدّدُ المعامل الأصليَ (القياسي) للمشروعِ الحالي. تخطيط اللوح سَيتم فحصه بالأمر DRC بموجب هذه المعاييرِ.



شكل (١٤)



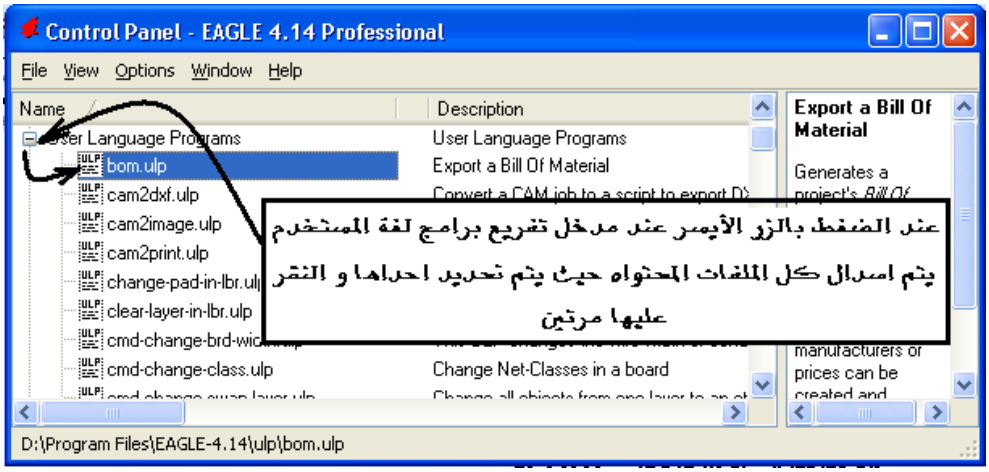
شكل (١٥)

٦-٥-٣ برامج لغة المستخدم User Language Programs

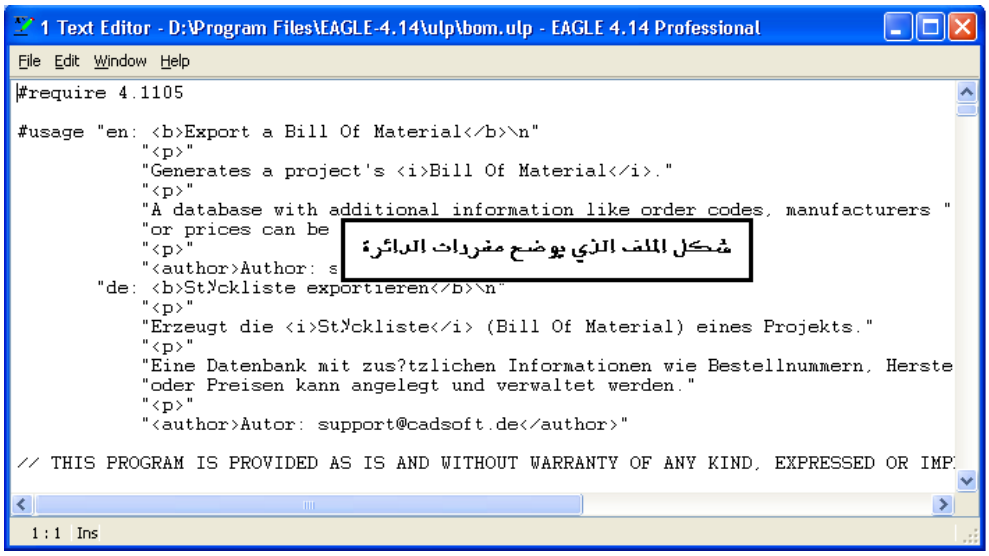
يَجيءُ برنامج EAGLE مَع لغةِ مستعملِ مترجمِ شبهِ سي متكاملة حيث تعطي منفذ إلى تفعيل كُلّ البيانات (في برنامج EAGLE أو الملفاتِ الخارجيةِ). ويُمْكِنُ أَنْ تَنشئَ برامج لغة المستعملِ User Language programs أيّ نوع من الملفِات ولهذا تُولدُ أي صيغة أو هيئة من البيانات المستعملة من قبل برامجِ أو أجهزةِ أخرى.

المثال الجيد هو الملفُ bom. ulp الذي يُولّدُ فاتورة الموادّ ، الأشكال (١٦،١٧). مع لغةِ المستعملِ ببرنامج EAGLE يمكن للفرد أن يمتلك أداة قويَّة لتَعريف أوامر userspecific التي يُمْكِنُ أَنْ تُخصّصَ، على سبيل المثال، إلى مفتاح وظيفةِ معينة. رجاءً أنظر إلى الملفاتِ بالامتداد ulp * وجزء لغة المستعملَ في وظيفة طلب المساعدة لتَكوين فكرة أفضل عن الإمكانياتِ المتأصّلةِ في البرنامجِ.

هناك برامج لغةِ مستعملِ إضافيةِ يُمْكِنُ أَنْ تُوْجَدَ على صفحاتِ موقع CADSOFT على شبكة المعلومات: http://www.cadsoftusa.com/download.htm .



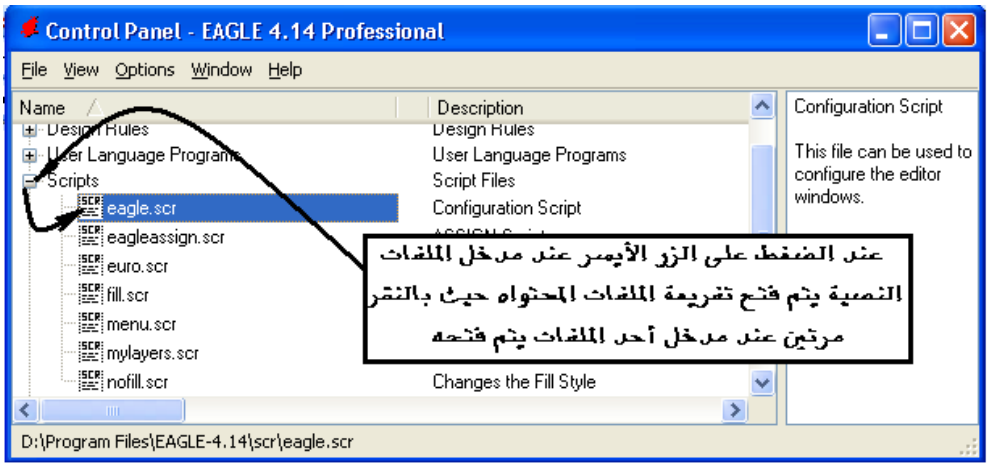
شكل (١٦)



شكل (١٧)

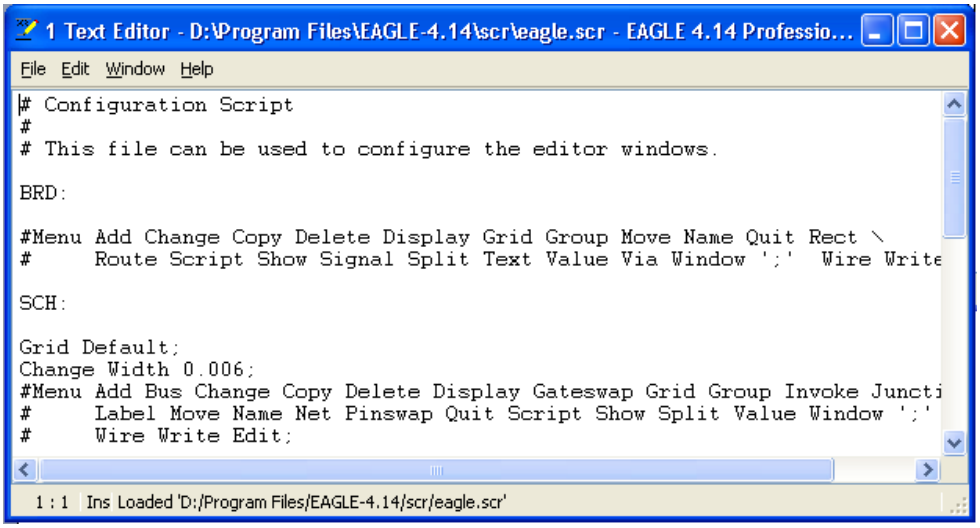
٦-٥-٤ المخطوطات أو النصوص Script

ملفات المخطوطة هي عبارة عن ملفاتَ نَصِّية حيث يُمْكِنُ أَنْ تَحتوي على أيّ أمر للبرنامج EAGLE (انظر الأمر SCRIPT)، الأشكال (١٨،١٩). تُمكن ملفاتُ المخطوطةِ المستعملَ من تَطبيق وظائفه. لذا فإن لك مواجهة دخل مرنةِ معرفة بتكوين الأوامر syntax command البرنامج EAGLE (انظر مساعدةَ البرنامج).



شكل (١٨)

أبدأ محرّرَ المكتبةَ Library Editor واستعمل مخطوطةَ التصديرِ EXPORT SCRIPT بعد تحميل المكتبة لتَوليد ملف المخطوطةِ. وهذا عبارة عن مثال جيد للتَعَلّم حول علم تكوين الأوامر command syntax.



شكل (١٩)

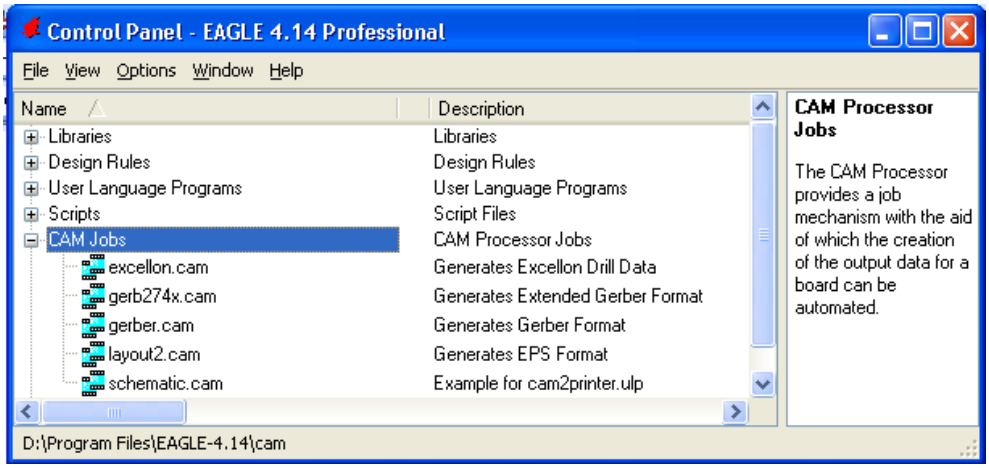
٦-٥-٥ وظائف التصنيع بمساعدة الحاسب CAM jobs

بالأداةِ المسجّلةُ على هذه القائمةِ، يبدو أن البيانات التي تكونت بواسطة البرنامج EAGLE قادرة على التحول إلى شكلٍ آخرٍ.

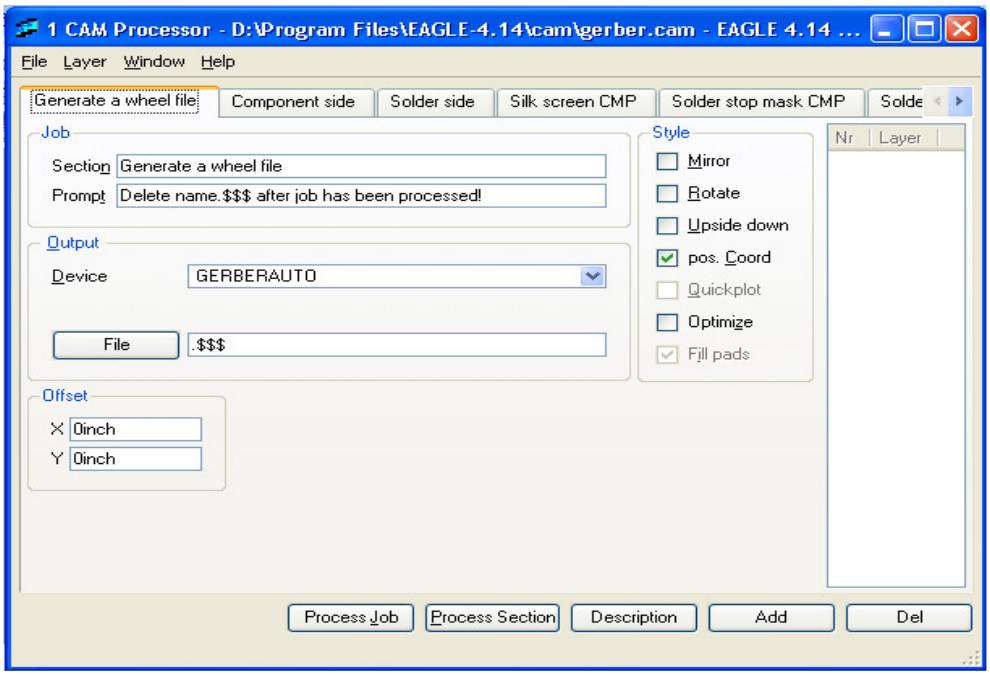
يتم توليد بيانات التصنيع بواسطة معالج التصنيع بمساعدة الحاسب CAM الأشكال (٢٠،٢١). حيث يتوافر أي عدد من السواقِات لخرج البيانات. و يجدر بالذكر إنّ السواقات مُعَرَّفة في ملف يعرف eagle.def ، والذي يمكِن أن يحرر بأي محرّر نصي.

الخرج إلى طابعاتِ المصفوفةِ، على أية حال، لَم ينشأ بمعالج CAM لكن بواسطة أمر PRINT. تَسْمحُ شروطُ رخصةِ برنامج EAGLE لك بإعطاء معالج التصنيع بمساعدة الحاسب CAM إلى منتج لوحتك. لعمل هذا، فإنك تَحتاج لتجهيزَه فقط بنسخة من برنامج EAGLE المجاني.

يُمْكِنُ لمعالج التصنيع بمساعدة الحاسب CAM أن يعمل بدون دعمٍ من أي آلية ترخيص. بدلاً عن ذلك، يُمْكِنُ لمنتج لوحتكَ أَنْ يطْلبَ برنامج EAGLE المجاني مباشرة مِنْ CadSoft. ويُمْكِنُ لمعالج CAM أيضاً أَنْ يُبْدَأَ مباشرة من نافذة كتابة الأوامر. ويُمْكِنُ لعدد مِنْ معاملات نافذة كتابة الأوامر أَنْ تُعْبَرَ إليه عندما يتم استدعائها. وهذا مدرجُ في الملاحقِ.



شكل (٢٠)

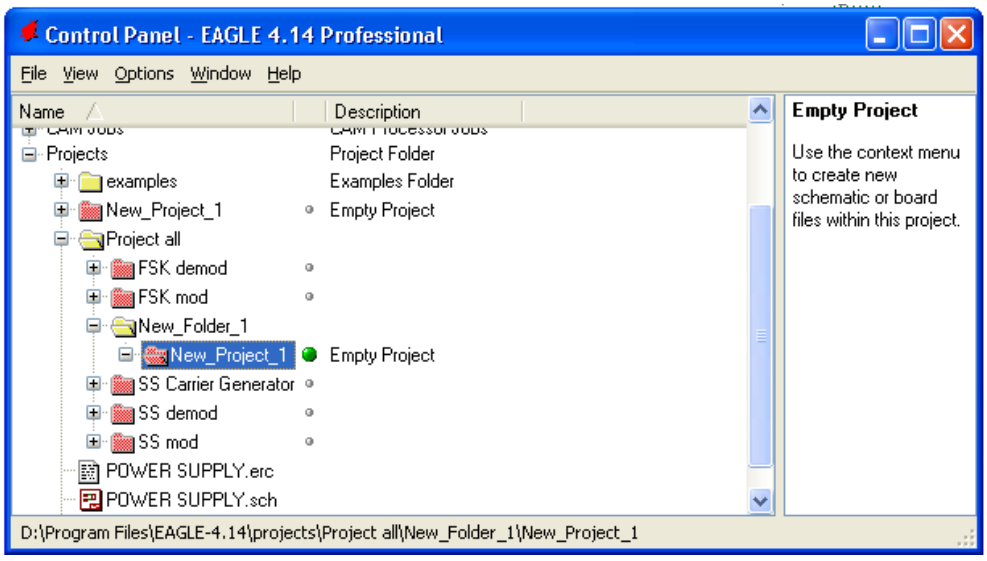


شكل (٢١)

٦-٥-٦ المشاريع Projects

يتم ترتيب المشاريعَ المُخْتَلِفةَ خلال واجهة التحكم. أي نقرة على مداخلُ المشاريعَ سوف تقوم بعرض حافظاتَ مُخْتَلِفةَ شكل (٢٢). وهذا يقع تحت المسار الموَضح Options/Directories/Projects. وهو مَسْمُوح لتَعريف أكثرِ مِنْ مسار واحد هناك.

يتكون أي مشروع عادة من حافظة (مجلد directory) حيث يُمثّلُ المشروع باسمِه وملفِ بترتيبِ المشروعَ eagle.epf . و تحتوي الحافظة عادة على كُلّ الملفات التي تَرجع إلى مشروعِكِ، على سبيل المثال، ملف الدائرة التخطيطية وملف اللوح، ملفات المكتبةِ الخاصّةِ، و ملفات المخطوطات وهكذا. مجلدات المشروعِ التي تَحتوي على ملف المشروع eagle.epf سوف يتم تعليمها بأيقونة حافظة حمراء. أما الحافظات 'الطبيعية' سَتَكُونُ معلمة بأيقونة صفراء.



شكل (٢٢)

يتم اختيار المشروع المطلوب تحريره من فرعِ المشاريعَ. على يمين اسمِ المشروعَ سَتَجِدُ علامة رمادية (دائرة صغيرة) أَو خضراء (دائرة كبيرة). بمساعدة هذه العلامةِ يُمْكِنُ لأى شخص أَنْ يفْتحَ أَو يغْلقَ المشاريعَ. النَقْر على العلامة الرمادية، يعمل على تحمّيلُ المشروعَ. حيث تظهر العلامة بعد ذلك خضراء. و النَقْر على العلامةِ الخضراءِ مرة ثانيةً أَو النَقْر على علامة رمادية أخرى يعمل على

غْلقُ المشروعُ الحاليُ وفْتحُ مشروعَ آخرَ على التوالي بعد إغلاق الحالي. بهذه الطريقِة فإن الفرد يُمْكِنُه أَنْ يَنتْقلَ بسهولة مِنْ مشروع واحد إلى آخرِ.

عند إغلاق المشروع فإنه سوف يتم حفظ الإعدادات الحالية في ملف المشروع المناظر eagle.epf، بشرط أن الخيار آلياً عند حفظْ ملفَ المشروعِ الموضوع في القائمة Options/Backup.

المشاريع الجديدة تم إنشاءها بنَقْر زرِّ الفأرِة اليمين على مدخل حافظة في هذا الفرعِ. أي قائمة سياقِ تَفْتحُ حيث تَسْمحُ للملفاتِ الجديدةِ و التفريعات (المجلدات) المطلوب إنشاءها والمشاريعَ الفرديةَ الّتي سَتُدارُ. اختيار الخيارِ New/Project تتفرّعُ حافظة جديدة التي يَجِبُ أَنْ تعطىَ عنوانُ المشروعَ. ملفِ المشروعَ eagle.epf سينشئ آلياً.

يُمْكِنُك أَنْ تَستعملَ أيضاً القوائم File/Open/Project أَو File/New/Project لكي تفتحْ أَو تنشي مشروع جديد.

٦-٦ معاني أيقونات نافذة محرر الرسم التخطيطي:



وظيفة طلب المساعدة Help Function

إذا كنت تُريدُ أَنْ تعرف أكثر حول أي أمر فإنه يمكنك النقر على هذه الأيقونة بشرط تحديد الأمر مسبقاً، مثال على ذلك: – الأمر WIRE السلكَ، قم بالنقرْ على أيقونتَه في شريط الأوامر command toolbar ، ثم انقر أيقونة طلب المساعدةَ. أو كبديل لما سبق قم بكتابة الأمر:

HELP WIRE ←

في نافذة كتابة الأمر . ثم اضغط مفتاح Enter و هو ما يمثله السهم ← .

معاملات الأمر Command Parameters

هناك عدد مِنْ أوامرِ برنامج EAGLE تحتاج إلى معاملات إضافيةِ. بالرجوع إلى صفحات طلب المساعدة لوصف المدخل النصّي للمعاملات (عن طريق نافذة كتابة الأمر أَو ملفِ المخطوطةِ script).

أغلب المعاملات يُمْكِنُ أَنْ تُدْخَلَ بنَقْر الأيقوناتِ الملائمةِ في شريط معاملات الأوامر، الشكل (٤٨)، والذي يَتغيّرُ طبقاً للأمر المختار. هذه الأيقوناتِ لها أيضاً عرض مساعدة لحظي. لاحظ كيف يَظْهرُ شريط معاملات الأوامر متى تم تنشيط الأمر NET .



شكل (٤٨)

على يسارِ شريط المعاملات توجد أيقونةُ الشبكةَ البيانية للرسم للتمكن من تحديد خطوة الشبكةَ المناسبة للرسم. يتلوها في اتجاه الأيمن الأزرار لعدد من أنماطِ الانحناء لمسارات التوصيل (SET WIRE_BEND) لخط التوصيل الكهربي، متبوعاً بنصفِ قطر الدوران لصَقْل نقط توصيل الخَطِّ بخياراتِ المستقيم أَو المدوّر straight or rounded (انظر الأمر MITER). بجانب هذا الأسلوبُ هناك قائمة Style حيث تم تعريف نوع الخط. وعلى أقصى اليمين قائمة القيمةِ value لتَخصيص فئة نقطة التوصيل Net class. ما هى الأوامر التي لها معاملات؟



أمر الشبكةِ البيانية للرسم : هذه الأيقونةِ متوفرةُ في أي وقت كان. و هي تستَعملُ لضبط الشبكة ولاختيار وحدةِ القياس الجارية. في برنامج EAGLE، أيّ قيمة تنسب إلى وحدة الشبكة الجارية.

شريط الأفعال The Action Toolbar

شريط الأدوات هذا يتكوّن من الأيقوناتِ التاليةِ:



مِنْ اليسارِ: أيقونة فتح أى ملف، أيقونة حفظ الملف، أيقونة الطباعة، أيقونة استدعاء معالج التصميم بمساعدة الحاسب CAM، أيقونة فتح / إنشاء ملفَ اللوح المطبوع والمطابقِ (الأمر BOARD).



رقم صفحة الرسم من مجموع صفحات الشكل التخطيطي:

تحميل، أو إزالة، أو إنشاء صفحة تخطيطية جديدة و هى تعبر عن عدد الصفحات في الرسمة التخطيطية الواحدة.



أيقونة الأمر (استعمال USE):

يقوم باختيار المكتبات التي سَتَكون مأخوذة في الاعتبار عند الحوارِ Add. يُمْكِنُ أيضاً أَنْ يُتم ذلك بالقائمة Library/Use أَو بنَقْر العلاماتِ في فرعِ المكتبات مِنْ تفريعة واجهة التحكم. تَحتوي قائمة سياقَ مكتبات الدخولَ أَو مجلداتها الأصغر subfolders على المداخلُ Use all استعمل الكل و Use none لا تَستعملَ شيء للاختيار أو عدم الاختيار selection/deselection السريع و السهل من كُلّ المكتبات (الحافظةِ). هذا الأمر يَجِبُ أَنْ يستَعملَ في ملفات المخطوطةِ لاختيار المكتبةِ التي تُريدُ أن تأَخْذ منها الأجزاءِ.



أيقونة الأمر (مخطوطةِ SCRIPT):

يُنفّذُ ملف مخطوطةِ. حيث يُمكّنُك من تَنفيذ أيّ سلسلة أوامر ببضعة نقرات من الفأرةِ.



أيقونة الأمر (تشغيل RUN):

يقوم ببدء تشغيل برنامج لغةِ المستعملِ User Language program (ULP).



أيقونات أوامر النافذةِ WINDOW:

هذه الأيقوناتِ تُمثّلُ أنماطَ مختلفةَ لأوامر النافذة WINDOW: مثل أمر ملائمة الرسم مع الشاشةِ (Alt-F2)، أمر التكبّيرُ (F3)، أمر التصغّيرُ (F4)، أمر إعادة رسم شاشةً (F2)، أمر عرض منطقةً جديدةً.

يمكن إزاحة جزءِ الرسم هذا والمعَروضَ على الشاشةِ بمسك مفتاح التحكم Ctrl لأسفل وتحريك الفأرة في نفس الوقت . لتَحريك نافذة الرسم الحاليةِ قم بالنقر بواسطة مفتاح الوسط للفأرة و حرك الفارة ! أضغط مفتاحَ الإزاحة Shift بشكل آني وأنت تسمح بتَحريك scroll خلف حدود الرسم!



أيقونة أمر الإلغاء UNDO والإعادة REDO:

هذه الأوامرِ تَسْمحُ لك لإلْغاء أوامر سابقِة ولتَنفيذ أوامرِ تم إلغائها سابقاً. مفاتيح الوظيفةِ: F9 و F10 (قياسية).



أيقونة إيقاف الأمر الحالي:

تقوم بإنهاء تنفيذُ أوامرِ برنامج EAGLE (Edit/Stop).



أيقونة إشارة المرور لبدء تنفيذ الأمر النشيط :

وهذا ضروريُ فقط إذا كان هناك معاملات أخرى يُمْكِنُ أَنْ تُدْخَلَ مِن قبل المستعملِ.



أيقونة بيان معلومات عن جزء:

طلب التزود بمعلومات حول الكائن الرسومي الّذي سيتم اختَيارُه.



أيقونة إبراز:

أيقونة إبراز (بإضاءة خطوط رسم الكائن) الكائن الرسومي المطلوب اختَيارَه.



أيقونة إظهار و عدم إظهار الطبقة:

أيقونة اختيار و رفض الطبقاتَ المطلوب عرضها. شاهدْ الملحقَ لمعنى الطبقاتِ. للمزيد من التفاصيل الرجاء مراجعة وظيفةَ طلب المساعدةِ.



وضع علام نقطة الأصل:

نقرةُ الفأرةِ التاليةِ تعرف نقطة الأصلِ الجديدِة لإظهار الإحداثيات. يتم إظهار المحاور (الإحداثيات) النسبية R x-value y-value و القيم القطبية polar values بالإضافة إلى الإحداثيات المطلقة في صندوق عرض الإحداثيات . إذا قمت أولاً بنْقرُ أيقونةَ العلام MARK و من ثم أيقونة إشارةِ مرور في شريط الأفعال، فقط سيتم عرض قِيَم الإحداثيات المُطلقة مرة ثانيةً.



أيقونة تحرّيكْ أيّ كائن رسومي مرئي:

الضغط على الزرُّ الأيمن للفأرةِ يعمل على إدارة أو دوران الكائن. إذا قمت بتحرّيكُ نقطة توصيل net على طرف دبوسي، فإنه لا يوجد اتصال كهربائيَ سَيُؤسّسُ. إذا قمت بتُحرّيكُ الطرف الدبّوسَي لبوابة إلكترونية على نقطة توصيل net أخرى، فإنه سينشأ نقطة اتصال كهربائي net .

لتَحريك مجموعة من الكائنات الرسومية: عرّفُ المجموعةُ بالأمر GROUP، أنقر أيقونةَ التحرّيكَ MOVE، ثمّ اختَرُ المجموعةَ بزر الفأرةِ الأيمن و حركه إلى الموقعِ المطلوبِ. يمكن أيضاً استخدام الزرّ الأيمن للفأرةِ لدوران المجموعة بمقدار ٩٠ درجةِ.



أيقونة نسخ :

مهمتها القيام بنسخ أجزاء و كائنات رسومية أخرى .



أيقونة عكس :

مهمتها استنساخ كائن رسومي على محور جانبي لكائن رسومي آخر



أيقونة تدوير:

مهمتها تدوير الكائنات الرسومية بمقدار ٩٠ درجة (محتملة أيضاً بالأمر MOVE).



أيقونة تحديد المجموعة:

مهمتها تعريف المجموعة التي يُمْكِنُ تحريكها، أَو إدارتها أو نسخها (بالأمر قص CUT ولصق PASTE) إلى رسمة أخرى. بعد نقر الأيقونةِ، يمكننا تعريف مجموعة بمستطيل و ذلك بواسطة الاحتفاظ بزرِّ الفأرةِ اليسارِ مضغوطا لأسفل وسْحبُ المؤشّرةَ إلى الزاويةِ الركنية المقابلة للمستطيلِ. إذا أردْت تَعريف المجموعة بواسطة المضلّع polygon، استعملُ الزرَّ اليسارِ للفأرة لتحديد أركان المضلع. ثم انقر زرّ الفأرةِ الأيمن لغلقْ المضلّعَ.



أيقونة القيام بتغيير خواصَ :

أيقونة القيام بتغيير خواصَ الكائن الرسومي، ومثال على ذلك:- عرض الخَطّ، تغيير التغليف أو مقاس النص. شاهدْ طلب المساعدةً للتفاصيلِ.



أيقونة قص :

مهمتها القيام بنقل الكائنات الرسومية للمجموعة المعرفة سابقاً إلى حاجز اللصق paste buffer . انظر إلى أمر اللصق PASTE . لَيسَ مماثلَ لوظيفةِ القص في النوافذَ.



أيقونة لصق :

مهمتها إدخال الكائنات الرسومية مِنْ حاجزِ اللصق إلى الرسم. القيود: انظر طلب المساعدة. لَيسَ مماثلَ لوظيفةِ اللصق في النوافذَ.



أيقونة حذف:

مهمتها حذفْ الكائنات الرسومية المرئيةَ. أيضاً بالتمازج مع أمر المجموعةِ GROUP. إذا تم تعريف مجموعة، فإنها يُمْكِنُ أَنْ تحْذَفَ بزرِّ الفأرِ الأيمن.

يقوم الأمر Delete بالحذف لكامل الجزءِ عند النَقْر على البوابة بالضغط على مفتاحِ Shift. في تلك الحالةِ، فإن الأسلاكَ الموصولة إلى العنصرِ في اللوحةِ لَنْ تتحول إلى خطوط هوائية ripped up. النَقْر على نقطة التوصيل net أَو المسار العمومي bus بالضغط على مفتاحِ Shift يؤدي إلى حْذف كامل قطاع نقطة التوصيل net و المسار العمومي bus .



أيقونة إضافة:

مهمتها إضافة عناصرَ من المكتبةِ إلى الشكل التخطيطي. وظيفة البحثِ search تُساعدُ على إيجاد العناصر من خلال المكتبة بسرعة. الأمر USE يحدّدُ أَيّ المكتبات متوفرة.



أيقونة مبادلة الأ خراف الدبوسية:

مهمتها مبادلة نقطتي توصيل متصلتين إلى الأطراف الدبوسِية المكافئة للعنصر الواحد، مزودة بالأطراف الدبوسية المعرفة بنفس مستوى المبادلة swaplevel.



أيقونة مبادلة بوابات منطقية:

مهمتها مبادلة بوابتين مكافئتينَ في العنصر الواحد، مزوّدَة بالبوابات التي تم تعريفها بنفس مستوى المبادلة swaplevel. في التعريف الاصطلاحِي لبرنامج EAGLE تعرف البوابة المنطقية كجزء من عنصر ، الذي يُمْكِنُ أَنْ يوْضَعَ بشكل منفرد في الشكل التخطيطي (ومثال على ذلك: – ترانزستور واحد مِنْ مصفوفة ترانزستورات).



أيقونة تسمية :

مهمتها القيام بإعطاء أسماءَ إلى العناصر، أو للوصلات الشبكية، أَو المسارات العمومية.



أيقونة وضع قيمة عنصر:

مهمتها القيام بتزويد العناصر بقيمها. تأخذ الدوائر التكاملية عادة النوع (ومثال على ذلك: – 74LS00N) كقيم لها.



أيقونة فصل :

مهمتها القيام بفصل نص الاسم والقيم مِنْ رمز العنصر، لكي يُمْكِنُ أَنْ يُوْضَعا بشكل منفرد. كما يمكن تغيير مقاس حروف و أرقام هذه النصوصِ بشكل منفرد. أيضاً بالتمازج مع الأمر مجموعة GROUP. إذا تم تعريف مجموعة، يُمْكِنُك أَنْ تُنفرد بها بالضغط على الزر الأيمن للفأرة.

حافظ على مفتاحَ Shift مضَغوطاً بينما استعمل الأمر Smash لإلغاء الانفراد بالنصوصَ. حيث يعتبروا لَيسوا قابلين للتحرير editable أكثر ويَظْهرونَ في المواضع الأصلية بعد إنعاش النافذة.



أيقونة دوران :

مهمتها تحقيق دوران لنقاط أو أركان توصيل السلك (محتملة أيضاً لنقط التوصيل الشبكية، و المسارات العمومية، و مخططات المضلّع). تحدد درجةَ mitering بنصفِ قطر الدوران. تُؤدّي الإشارةُ الإيجابية إلى الدوّران للخارج أما الإشارةَ السلبيةَ فهي تعبر عن الدوران للداخل. قد يُؤثّرُ نصفُ قطر الدوران على بَعْض انحناءات السلكِ، بدرجة كبيرة (راجع وظيفةَ طلب المساعدةِ: SET, Wire Bend).



أيقونة تقسيم :

مهمتها إدخال زاويةً إلى سلك أَو وصلة توصيل شبكية.



أيقونة جلب:

مهمتها جلب أو إحضار بوابة معيّنة مِنْ عنصر (ومثال على ذلك: – البوابة D قبل البوابة C). هذا الأمر يسْمحُ لك أيضاً لإضافة بوابة مِنْ العنصر الموجود على صفحةِ الرسم sheet الأخرى. في مثل هذه الحالةِ، قم بكتابة اسمَ العنصر (ومثال على ذلك: – IC1) إلى نافذة كتابة الأوامر بعد اختيار الأمر Invoke.



أيقونة رسم خط:

مهمتها رسم خط (هذا الأمر يدْعَى سلكَ WIRE لأنه يُستَعملُ لتَعريف التوصيلات الكهربائية، وبمعنى آخر: الأسلاك، في محرّرِ التخطيطَ Layout Editor). يمكن تغيير نوع الخَطِّ بالأمر CHANGE STYLE .بالنَقْر على الزرِّ الأيمن للفأرةِ يُتم تغيّيرُ نمطُ الانحناء (SET WIRE_BEND).

السلك WIRE يُمْكِنُ أيضاً أَنْ يُستَعملُ لرسم الأقواسِ. رجاءً لاحظْ الخواصَ بالتمازج مع مفتاح التحكم ومفتاحِ الإزاحة في وظيفةِ طلب المساعدةَ.



أيقونة وَضْع النَصِّ:

مهمتها وضع نص على الرسم. استخدم CHANGE SIZE لتَعديل ارتفاع النَصِّ. إذا كان المستخدم في النَصّ الخطّ الموجهِ vector font، فإن نسبة التغييرِ CHANGE RATIO سَتُعدّلُ السُمكَ. تغييرِ النص CHANGE TEXT يُستَعملُ لتَعديل النَصِّ نفسه. تغييرِ الخط CHANGE FONT يُعدّلُ الخطّ typeface . يمكنك تُغيّيرُ نصوصَ label texts بتَخصيص اسم مختلف إلى المسار العمومي bus أَو إلى نقطة التوصيل الشبكية net بواسطة أمر الاسمَ NAME. شاهدْ أيضاً أمر LABEL.



أيقونة رسمْ دائرة هندسية:

مهمتها رسمْ دائرة هندسية. يمكن رسم دوائر هندسية بسمك صفر كدوائر ممتلئة.



أيقونة رسم قوس:

مهمتها رسم قوس (محتمل أيضاً رسمه بالسلكِ WIRE). تُعرّفُ CHANGE CAP FLAT | ROUND نهايات القوس فإما أن تكون دورانية أو مستقيمة .



أيقونة رسم مستطيل:



أيقونة رسم مضلع: (مناطق نحاسية في أيّ شكل).



أيقونة رسم مسار عمومي:

مهمتها رسم مسار عمومي bus. إنّ معنى مسار عمومي bus أكثرُ فهماً مِنْ المعنى الطبيعي. هو فقط وسائل جَعْل الشكل التخطيطي أسهل للقِراءة. فقط يتم تعريف نقط التوصيل الشبكية nets كوصلات كهربائية. نقط التوصيل الشبكية هذه ، على أية حال، يُمْكِنُ أَنْ تسْحَبَ خارج المسار العمومي bus .



أيقونة رسم نقطة أو خط توصيل شبكي:

مهمتها رسم نقطة أو خط توصيل شبكي net. نقطة التوصيل الشبكية بنفس الاسمِ تكون مرتبطة معاً كهربياً (حتى و لو كانت واقعِة على الصفحات sheets المختلفة للرسمة الواحدة). نقطة التوصيل الشبكية Nets و الأطراف الدبوسية pins اللذان يظْهرانِ إلى العينِ موصلتان لَيستا بالضرورة مُرتَبِطتان بشكل كهربائي. رجاءً افحص بالأمر عرض SHOW، أو الأمر فحص قواعد الكهرباء ERC، أَو بتَصدير قائمة الوصلات a netlist بالأمر تصديرَ EXPORT. راجع أيضاً التحرّيك MOVE.



أيقونة وضِعْ رمز التوصيل الكهربي:

مهمتها وضِعْ رمزَ التوصيل الكهربيnet connection . عُموماً، التوصيلات الكهربية junctions مَوْضُوعة آلياً، لكن نقط التوصيل الشبكية التي تتقاطع يُمْكِنُ أيضاً أَنْ توصل أو تربط يدوياً بواسطة الأمر JUNCTION.



أيقونة وضِعْ بطاقة نصية: مهمتها وضِعْ بطاقة نصية على المسار العمومي bus أَو نقطة الاتصال الشبكية label net. البطاقات النصية Labels لا يُمْكن أنْ تتُغيّرَ بالأمر CHANGE TEXT و لكن بالأحرى بالأمر اسمَ NAME .



أيقونة فحص القواعد الكهربية :

تقوم بأداء فحص القاعدةِ الكهربائيةِ وفحص اتساق الشكل التخطيطي واللوحة.

٦-٧ معاني أيقونات نافذة محرر اللوح المطبوع:

سوف يعاد إعطاء نبذة مبسطة عن الأيقونات التي ذكرت سابقاً حتى يتمكن القارئ من المتابعة لأوامر نافذة محرر تخطيط لوح الدائرة المطبوعة عند فتحها مع التركيز على بعض الاختلافات في بعض الأوامر مع إضافة الأوامر الجديدة التي لم نجدها في نافذة محرر الشكل التخطيطي كما سيلي:



أيقونة طلب التزود بمعلومات حول الكائن الرسومي الّذي تم اختيَارُه.



أيقونة إبراز (بإضاءة خطوط رسم الكائن) الكائن الرسومي المطلوب اختيَارَه.



أيقونة اختيار و رفض الطبقاتَ المطلوب عرضها. العناصر على جانب قمةِ اللوح يُمْكِنُ أَنْ تختَارَ فقط إذا كانت الطبقة رقم ٢٣، tOrigins، مَعْرُوضَةُ. نفس الشيء يَنطبقُ على العناصر الموجودة على جانبِ قاع اللوح والطبقة رقم ٢٤، bOrigins. فقط طبقاتِ الإشارة signal layers هذه والتي تم تعَرّيفها في إعدادِ الطبقةَ تكون موضحة. انظر الملحق لمعرفة معاني الطبقاتِ. و هناك معلومات إضافية حول الخياراتِ الأخرى لأمر العرضَ DISPLAY يُمْكِنُ أَنْ تَوْجَدَ في طلب المساعدةِ في البرنامجَ.



نقرةُ الفأرةِ التاليةِ تعرف نقطة الأصلِ الجديدِة لعرضِ المحور (الإحداثي). يتم إظهار المحاور (الإحداثيات) النسبية R x-value y-value و القيم القطبية polar values بالإضافة إلى الإحداثيات المطلقة في صندوق عرض الإحداثيات . إذا قمت أولاً بنْقرُ أيقونةَ العلام MARK و من ثم أيقونة إشارةِ مرور، فقط سيتم عرض قِيَم الإحداثيات المُطلقة مرة ثانيةً.



أيقونة تحرّيكْ أيّ كائن رسومي مرئي. الضغط على الزرُّ الأيمن للفأرةِ يعمل على إدارة أو دوران الكائن. إذا قمت بتحرّيكُ نقطة توصيل net على طرف دبوسي، فإنه لا يوجد اتصال كهربائيَ سَيُؤسّسُ. إذا قمت بتُحرّيكُ الطرف الدبّوسَي لبوابة إلكترونية على نقطة توصيل net أخرى، فإنه سينشأ نقطة اتصال كهربائي net .

لتَحريك مجموعة من الكائنات الرسومية: عرّفُ المجموعةُ بالأمر GROUP، أنقر أيقونةَ التحرّيكَ MOVE، ثمّ اختَرُ المجموعةَ بزر الفأرةِ الأيمن و حركه إلى الموقعِ المطلوبِ. يمكن أيضاً استخدام الزرّ الأيمن للفأرةِ لدوران المجموعة بمقدار ٩٠ درجةِ.



إيقونة القيام بنسخ أجزاء و كائنات رسومية أخرى .



أيقونة استنساخ كائن رسومي على محور جانبي لكائن رسومي آخر



أيقونة دوران الكائنات الرسومية بمقدار ٩٠ درجة للنقرة الواحدة. دوران الكائنات الرسومية (محتملة أيضاً بالأمر MOVE). احتفظ بالزر الأيسر للفأرة منضغطاً لإدارة الكائن الرسومي المختار بواسطة تحريك الفأرة. يوضح شريط أدوات المعاملات الزاوية الحالية. هذا يُمْكِنُ عمله بالمجموعاتِ (الأمر GROUP والزرّ الأيمن للفأرةِ) أيضاً. بدلا من ذلك قم بكتابة الزاويةُ في صندوقِ الزاويةَ أَو في نافذة كتابة الأمر. تفاصيل أكثر يُمْكِنُ أَنْ تُوْجَدَ في وظيفةِ طلب المساعدةَ.



أيقونة تعريف المجموعة التي يُمْكِنُ تحريكها، أَو إدارتها أو نسخها (بالأمر قص CUT ولصق PASTE) إلى رسمة أخرى. بعد نقر الأيقونةِ، يمكننا تعريف مجموعة بمستطيل و ذلك بواسطة الاحتفاظ بزرِّ الفأرةِ اليسارِ مضغوطا لأسفل وسْحبُ المؤشّر إلى الزاويةِ الركنية المقابلة للمستطيلِ. إذا أردْت تَعريف المجموعة بواسطة المضلّع polygon، استعملُ الزرَّ اليسارِ للفأرة لتحديد أركان المضلع. ثم انقر زرّ الفأرةِ الأيمن لغلقْ المضلّعَ.

لِكي تكُونَ متأكّداً بأن كُلّ العناصر المختارَة تم عرض Display all كل الطبقات قبل ذلك.



أيقونة القيام بتغيير خواصَ الكائن الرسومي، ومثال على ذلك:-عرض الخَطّ، تغيير التغليف أو مقاس النص. شاهدْ طلب المساعدةً للتفاصيلِ. إذا تم ضغط مفتاحِ الخروجَ Esc بعد تَغْيير الخاصية، فإن قائمة القيمة المستخدمة سابقاً سَتَظْهرُ. بهذه الطريقة فإن قيمة جديدة يُمكنُ أَنْ تَكُونَ مختارة بشكل ملائم. راجع صفحات المساعدةَ .



أيقونة القيام بنقل الكائنات الرسومية للمجموعة المعرفة سابقاً إلى حاجز اللصق paste buffer . انظر إلى أمر اللصق PASTE . لَيسَ مماثلَ لوظيفةِ القص في النوافذَ.



أيقونة إدخال الكائنات الرسومية مِنْ حاجزِ اللصق إلى الرسم. القيود: انظر طلب المساعدة. لَيسَ مماثلَ لوظيفةِ اللصق في النوافذَ.



أيقونة حذفْ الكائنات الرسومية المرئيةَ. أيضاً بالتمازج مع أمر المجموعةِ GROUP. إذا تم تعريف مجموعة، فإنها يُمْكِنُ أَنْ تحْذَفَ بزرِّ الفأرِ الأيمن. احذف الإشاراتَ DELETE SIGNALS تَمْحو كُلّ الإشارات في التخطيطِ للوح، مزوّدَة بأنه ليس هناك وصلات مَفْتُوحة في الشكل التخطيطي. يقوم الأمر Delete بحْذفُ كامل المضلّعِ عند النَقْر على سلك المضلّعِ بضغط مفتاحِ الإزاحة Shift . حافظ على إبْقاء مفتاحِ التحكم Ctrl مضغوطاً بينما انَقْر على انحناء السلكِ سَتَحْذفُ الانحناء. أي اتصال مباشر جديد بين الانحناءات التالية سَتَكُونُ مرسومة الآن. إذا لم نستطع حذف كائنات رسومية، فإن السبب يُمْكِنُ أَنْ يَتوقّفَ على خطأ المضلّعاتِ المنسوب إلى أمر DRC . ويُمْكِنُ أَنْ يُحْذَفوا بالأمر ERRORS (ERRORS CLEAR). إذا لم تظهر الطبقةِ رقم ٢٣، tOrigins، أَو ٢٤، bOrigins، فإن العناصر لا يمكن حذفها.



أيقونة إضافة عناصرَ من المكتبةِ إلى الرسم. وظيفة البحثِ search تُساعدُ على إيجاد العناصر من خلال المكتبة بسرعة. الأمر USE يحدّدُ أَيّ المكتبات متوفرة.


PINSWAP أيقونة مبادلة إشارتين متصلتين إلى الأطراف الدبوسِية المكافئة للعنصر الواحد، مزودة الأطراف الدبوسية المعرفة بنفس مستوى المبادلة swaplevel.


REPLACE أيقونة استبدال تغليف عنصر بتغليف آخر مِنْ أيّ مكتبة. هذا مسموح به لطالما تَعْملُ في تخطيط لوح الدائرة المطبوعة التي تكون غير موصولة مع أى شكل تخطيطي عن طريق التذييل الأمامي & الخلفي. في تلك الحالةِ يَجِبُ أَنْ يَستعملَ الأمر CHANGE PACKAGE لكي تُغيّرَ بين الأغلفة المختلفة.


NAME أيقونة القيام بإعطاء أسماءَ إلى العناصر، الإشارات Signals، أَو نقط العبور VIA


VALUE أيقونة القيام بتزويد العناصر بقيمها. تأخذ الدوائر التكاملية عادة النوع (ومثال على ذلك: – 7400) كقيم لها.


SMASH أيقونة القيام بفصل نص الاسم والقيم مِنْ العنصر، لكي يُمْكِنُ أَنْ يُوْضَعا بشكل منفرد. كما يمكن تغيير مقاس حروف و أرقام هذه النصوصِ بشكل منفرد. أيضاً بالتمازج مع الأمر مجموعة GROUP. إذا تم تعريف مجموعة، يُمْكِنُك أَنْ تُنفرد بها بالضغط على الزر الأيمن للفأرة.

حافظ على مفتاحَ Shift مضَغوطاً بينما استعمل الأمر Smash لإلغاء الانفراد بالنصوصَ. حيث يعتبروا لَيسوا قابلين للتحرير editable أكثر ويَظْهرونَ في المواضع الأصلية بعد إنعاش النافذة.


MITER أيقونة دوران نقط أو أركان توصيل السلك (محتملة أيضاً لمخططات المضلّع Polygon contours). تحدد درجةَ mitering بنصفِ قطر الدوران. تُؤدّي الإشارةُ الإيجابية إلى الدوّران للخارج أما الإشارةَ السلبيةَ فهي تعبر عن الدوران للداخل. قد يُؤثّرُ نصفُ قطر

الدوران على بَعْض انحناءات السلكِ، بدرجة كبيرة (راجع وظيفةَ طلب المساعدةِ: SET, Wire Bend).



أيقونة إدخال زاويةً إلى سلك Wire .



أيقونة القيام برْبطُ قطاعات السلك في طبقة التغذية signal layer التي تَقع في خَطٍّ مستقيمٍ واحد.



أيقونة التوجيه لمسارات التغذية يدوياً. يتم تحويل الخطوط الهوائية Airwires إلى أسلاكِ.



أيقونة تحويل الأسلاكَ (مسارات tracks) الموجهة إلى خطوط تغذية signals غير موجهة (airwires). تغيير عرض المضلعات المَمْلُوءِة (مَحْسُوبة) شكل خارجي outline view.



أيقونة رسم الخطوط و الأقواس. إذا كان مستعملِ في الطبقاتِ من ١ إلى ١٦، فإن الأمر WIRE يقوم بإنشاء توصيلات كهربائيةُ. معامل الأسلوبَ style parameter CHANGE) يحدد نوعَ الخَطَّ. الأمر DRC و Autorouter دائماً يعالج السلك WIRE كخَطّ مستمر، مهملاً نوع الأسلوبِ المستعملُ. النَقْر على الزرِّ الأيمن للفأرةِ يؤدي إلى تغيير انحناء السلكَ (SET WIRE_BEND). رجاءً لاحظْ الخواصَ بالتمازج مع مفتاح التحكم Ctrl ومفتاح الإزاحة Shift في وظيفةِ طلب المساعدةَ.



أيقونة وَضْع النَصِّ. استخدم CHANGE SIZE لتَعديل ارتفاع النَصِّ. إذا كان المستخدم في النَصّ الخطّ الموجهِ vector font، فإن نسبة التغييرِ CHANGE RATIO سَتُعدّلُ السُمكَ. تغييرِ النص CHANGE TEXT يُستَعملُ لتَعديل النَصِّ نفسه. تغييرِ الخط CHANGE FONT يُعدّلُ الخطّ typeface. الخيار الدائم هو الخطّ الموجهِ Options/User)

vector font (Interfaceيوضح و يطْبعُ كُلّ النصوص بخطٍّ الموجهِ، بغض النظر عن أى خطّ يُعد لنَصّ معيّن. يُوصي بقوة لكِتابَة النصوصِ في الطبقاتِ النحاسيةِ كخطّ موجهِ! لذا يُمكنُك أَنْ تكُونَ متأكّد بأن ناتجِ معالجِ CAM مماثلُ للنص الموضح على محرر تخطيط لوح الدائرة المطبوعة. شاهدْ أيضاً وظيفةَ طلب المساعدةِ.



أيقونة رسمْ دائرة هندسية. هذا الأمر ينشىء مناطق محظورة للموجه الآلي Autorouter إذا استخدم في الطبقات ٤١، ٤٢tRestrict bRestrict ,، أَو ٤٣، vRestrict. الدوائر الهندسية بعرضِ خطوط = ٠ يتم رسمه كدوائر ممتلئة.



أيقونة رسم قوس (محتمل أيضاً رسمه بالسلكِ WIRE). تُعرّفُ CHANGE CAP FLAT | ROUND نهايات القوس فإما أن تكون دورانية أو مستقيمة .



أيقونة رسم مستطيل. هذا الأمر ينشىء مناطق محظورة للموجه الآلي Autorouter إذا استخدم في الطبقات ٤١، tRestrict, 42, bRestrict، أَو ٤٣، vRestrict



أيقونة رسم مضلّع (مناطق نحاسية في أيّ شكل). المضلّعات في طبقاتِ التغذية signal layers يتم علاجها كخطوط تغذية signals . و يظلوا قابلين لضبط المسافة إلى الكائنات الرسومية نسبة إلى خطوط التغذية الأخرى (صب النحاس copper pouring ، ملء الفيضانِ flood fill). هذا يُمكّنُك لإدْراك مناطقِ تغذية أخرى على نفس الطبقة. الأمر POLYGON المضلّعَ ينشىء المناطق المحظورةَ لموجه الآلي Autorouter إذا استخدم في الطبقاتِ bRestrict , tRestrict، أَو vRestrict،. للإمكانياتِ الأخرى مِنْ الأمر المضلّعَ POLYGON انظر طلب المساعدةً.



أيقونة وضع فتحة أو ثقب العبور Vias. يتم وضع ثقب العبور آلياً إذا تم تغيير الطبقةِ أثناء توجيه المسارات آلياً ROUTE. يُمْكِنُك أَنْ تُخصّصَ ثقب عبور إلى خط تغذية بالأمر NAME بتَغيير اسمُه إلى اسمِ خط التغذية.



أيقونة التعريف اليدوي لخط التغذية . هذه الخاصية لَيسَت ممكنة إذا كانت الملاحظات التفسيرية للأمام & الخلف نشيطُة. في تلك الحالةِ يَجِبُ أَنْ تُعرّفَ الاتصال بالأمر NET في محرّرِ الشكل التخطيطيِ.



أيقونة تعريف ثقب التثبيت .



أيقونة القيام بحسابْ أقصر الخطوط الهوائية airwires وإظهار النمط الحقيقي (مَمْلُوء) للمضلّعات. حساب المضلّعَ يُمْكِنُ أَنْ يُعطّلَ بالأمر SET (Options/Set/Misc). هذا الأمر سَيتم تُنفّيذُه آلياً لخطوط التغذية المختارةِ أثناء رسم سلك بالأمر ROUTE.



أيقونة بدء تشغيل الموجه الآلي.



أيقونة تعريف قواعدَ التصميمِ وأدّاء فحص قاعدةِ تصميمِ.



أيقونة بيان أخطاء تم كشفها مِن قِبل DRC والتخلص من أخطاء المضلّعات.



أيقونة القيام بأداء فحص القاعدةِ الكهربائيةِ وفحص اتساق الشكل التخطيطي واللوح.

تمارين

حاول تصميم الشكل العملي للوح المطبوع الخاص بالدائرة الموضحة بالشكل التالي

C1, C14, C18 — 0.1 μF ceramic.
C2, C7, C13, C20 — 0.001 μF feed through.
C3 — 100 μF/3V.
C4, C6 — 0.033 μF mylar
C5 — 0.0047 μF mylar.
C8, C9 — 0.015 and 0.033 μF mylars in parallel.
C10 - 470 pF mica.
C11, C12 — 560 pF mica.
C15 — 1000 μF/3 V
C16, C17 — 0.015 μF mylar
C19 — 10 pF 15 V
C21, C22 — two 0.068 μF mylars in parallel.
C23 — 330 pF mica
C24 — 39 pF mica
C25 — 680 pF mica
C26 — .01 μF ceramic

R1, R6, R7 — 10 Ω, 1/2 W carbon.
R2 — 51 Ω, 1/2 W carbon
R3 — 240 Ω, 1 wire W
R4, R5 — 18 Ω, 1 W carbon
R8, R9 — 27 Ω, 2 W carbon
R10 — 33 Ω, 6 W wire W
L1 — 0.22 μh molded choke
L2, L7, L8 — 10 μh molded choke
L5, L6 — 0.15 μh
L3 — 25 t, #26 wire, wound on a 100 Ω, 2 W resistor. (1.0 μh)
L4, L9 — 3 ferrite beads each.

T1 — 2 twisted pairs of #26 wire, 8 twists per inch. A = 4 turns, B = 8 turns. Core- -Stackpole 57-9322-11, Indiana General F627-8Q1 or equivalent

T2 — 2 twisted pairs of #24 wire, 8 twists per inch, 6 turns. (Core as above.)

T3 — 2 twisted pairs of #20 wire, 6 twists per inch, 4 turns. (Core as above.)

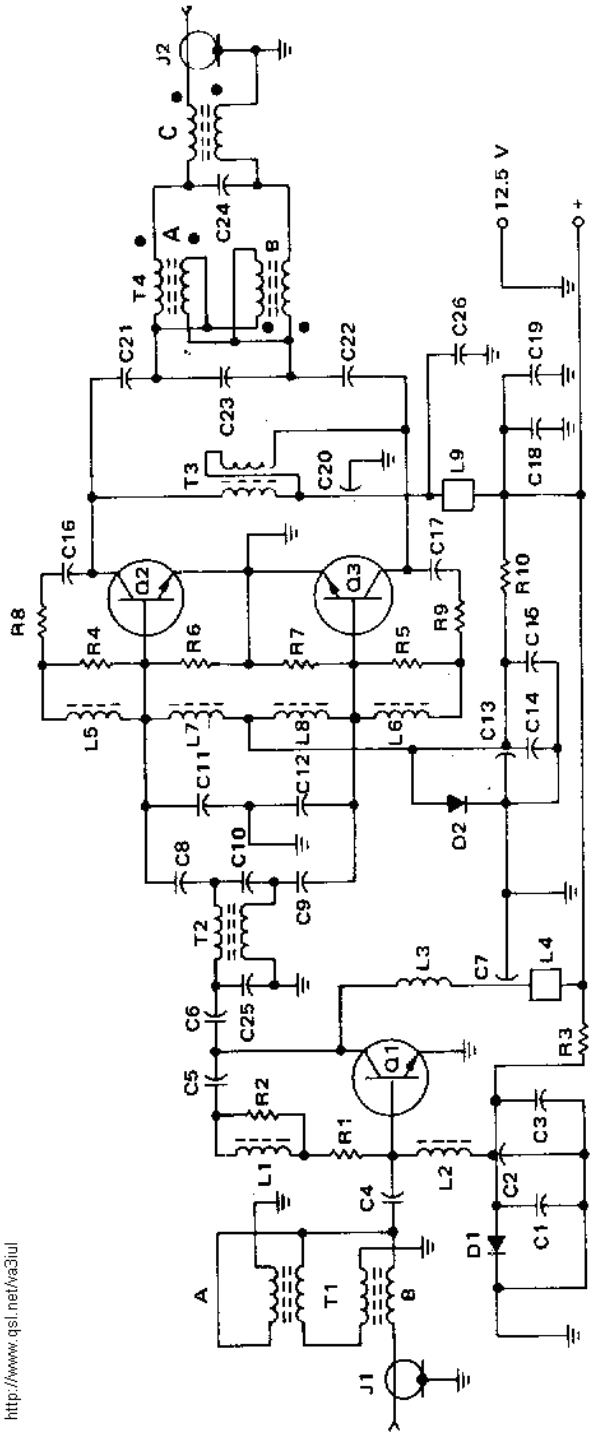
T4 — A and B = 2 twisted pairs of #24 wire, 8 twists per inch, 5 turns each. C = 1 twisted pair of #24 wire, 8 turns. Core - - Stackpole 57-9074-11, Indiana General F624-19Q1 or equivalent.

Q1 — 2N6367

Q2, Q3 — 2N6368

D1 — 1N4001
D2 — 1N4997

J1, J2 — BNC connectors


J2
C
A
B
T4
C24
C21
C22
C23
T3
C20
C26
C19
C18
L9
12.5 V
+
C16
C17
Q2
Q3
R8
R4
R6
R7
R5
R9
R10
C15
L5
L7
L8
L6
C13
C14
C11
C12
D2
C8
C10
C9
T2
L3
C7
L4
C6
C25
Q1
R3
C5
R2
R1
C3
L1
L2
C2
C4
D1
C1
A
T1
B
J1
http://www.qsl.net/va3iul

الملاحق

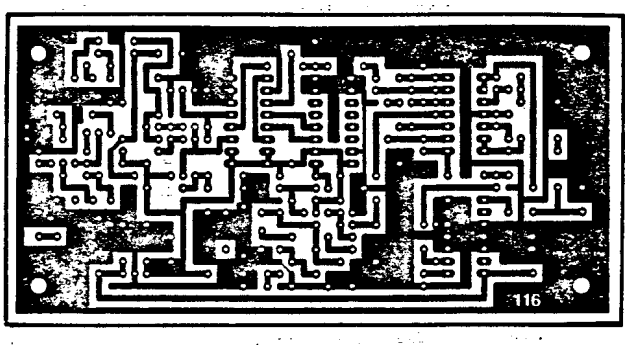
الملحق رقم (أ)

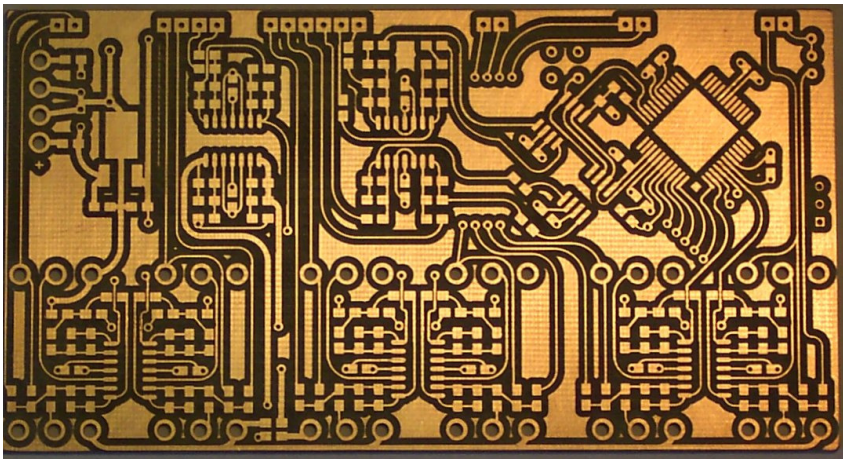
تعريف الألواح المطبوعة
ذات الشرائط النحاسية المثقبة وذات الوسائد المثقبة

لتحديد مساحة لوح الدائرة المطبوعة هناك طريقة بسيطة لتحديد مقاس (مساحة) الدائرة المطبوعة لهذه الدائرة وهو بعمل نماذج من الورق المقوي بمساحات أحد مساقط العناصر المستخدمة في الدائرة والقيام برصها بطريقة تقريبية للوصول بها إلى شكل الدائرة، ثم يحدد الإطار الخارجي الذي يضم هذه العناصر و يفضل أن تكون مساحة اللوح مستطيلة الشكل. وهناك برامج تقوم بحساب مساحة اللوح المطلوب في حالة ما إذا أدخلت البيانات عن أبعاد العناصر الإلكترونية.

وهناك حدود ميكانيكية في التصميم يجب الالتزام بها للوصول بمساحة الدائرة المطبوعة إلى أصغر مساحة ممكنة لتجنب التعرض للالتواء والانحناء والتمدد والانكماش طبقاً للظروف الجوية. وكل هذا يؤدي إلى تشقق و تصدع مسارات الموصلات الملتصقة بالمادة العازلة مما يسبب حدوث فصل كهربي في الدائرة .

وللدوائر المطبوعة أنواع مختلفة تتوقف علي التصميم والتنفيذ ومن هذه الأنواع ما يظهر بالشكل (أ-١) حيث تم بيان ثلاثة أنواع من طرق تنفيذ الدوائر المطبوعة. النوع الأول يستخدم في الإنتاجية الكبيرة حيث يتم تصميمه علي الشفافيات و يطبع علي طبقة النحاس للدائرة المطبوعة الخام (قبل التشغيل) ثم بعد ذلك تعامل بالأحماض حيث تزال طبقات النحاس الغير مرغوبة و يتبقى الشكل ذو المسارات الموصلة.

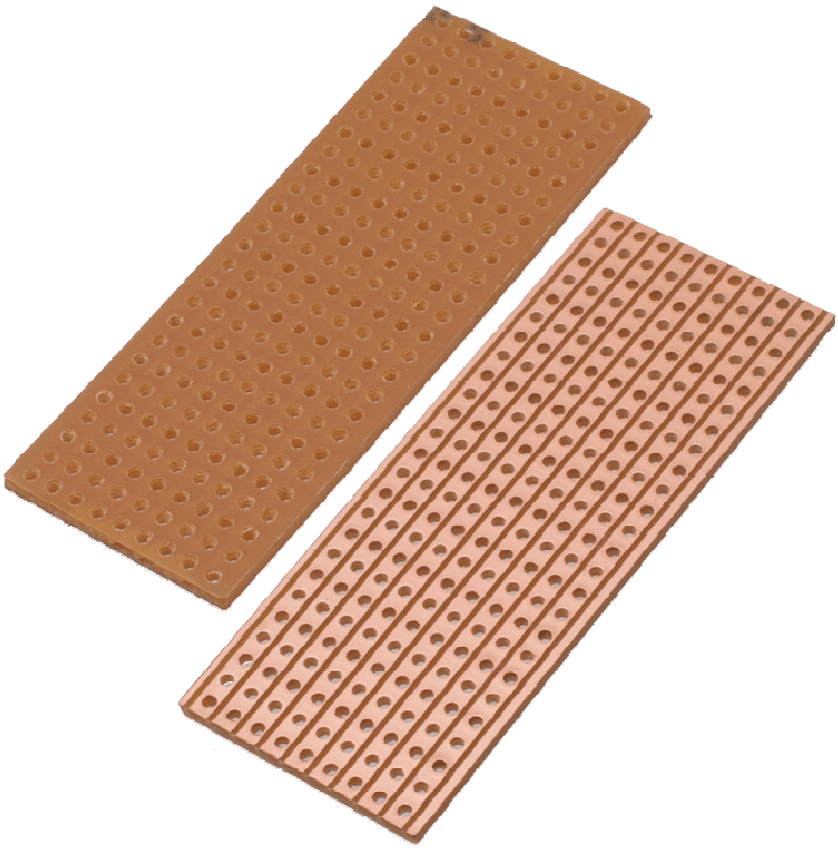


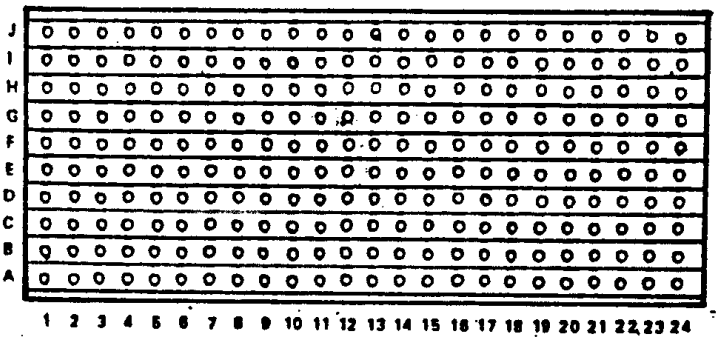


لوح دائرة مطبوعة إنتاجية

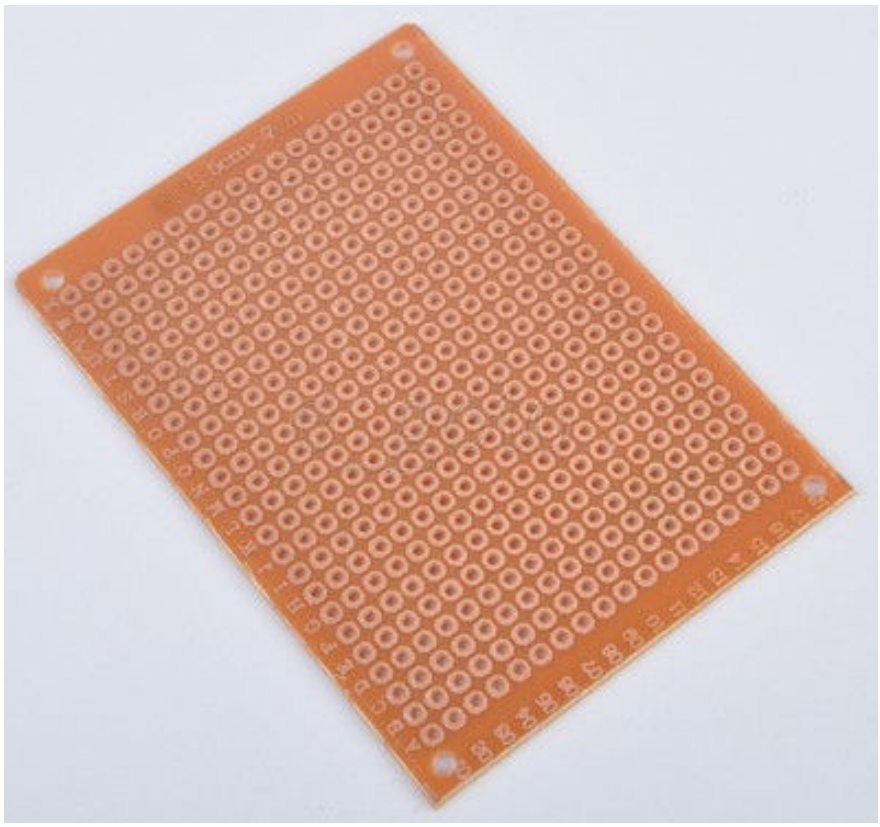
أما النوع الثاني فهو عبارة عن دوائر مطبوعة ذات شرائط نحاسية موصلة ومثقبة. ثم تستخدم هذه الشرائط باستخدامها كموصلات لعناصر دائرة إلكترونية معينة كما سيتبع في تنفيذ تمرين جهاز تغذية القدرة.

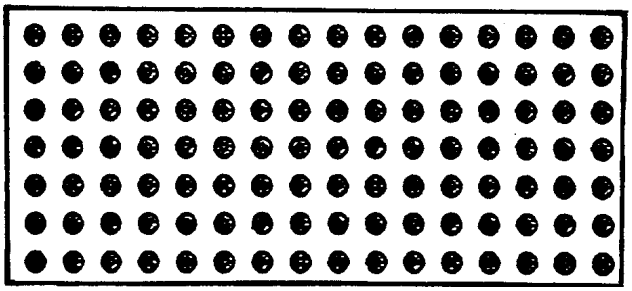
النوع الثالث فهو عبارة عن مادة عازلة عليها وسائد دائرية نحاسية مثقبة مركزياً ويفضل عند إجراء اللحام بين اطراف العناصر السلكية أن يستخدم السلك العريان لتمثيل وصلات أو مسارات التوصيل بين أطراف العناصر.





لوح دائرة مطبوعة ذات شرائط نحاسية مثقبة





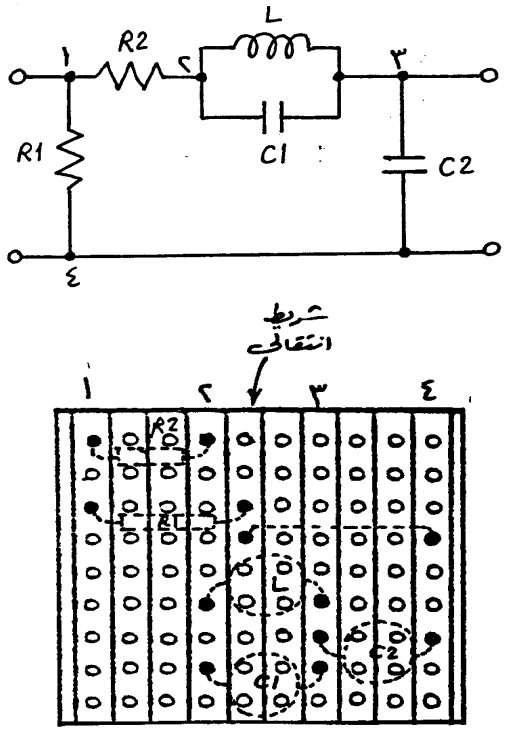
لوح دائرة مطبوعة ذو وسائد مثقبة

شكل (أ-١) يوضح بعض تصميمات الدوائر المطبوع

أولاً : تطبيق الألواح المطبوعة ذات الشرائط النحاسية المثقبة :

لتنفيذ دائرة إلكترونية علي لوح دائرة مطبوعة ذات الشرائط النحاسية يتبع الخطوات التالية:

١-ترقيم نقاط التفريع المختلفة علي الرسم التخطيطي للدائرة النظرية كما هو موضح بالشكل (أ-٢).



شكل (أ-٢) يوضح كيفية ترقيم نقاط الجهود علي الشرائط النحاسية المثقبة للدائرة المطبوعة

٢-ترقم الشرائط النحاسية بالترتيب أو حسب كثافة عناصر الدائرة النظرية علي لوح الدائرة المطبوعة بنفس عدد الأرقام المعرفة للإسقاط الجهدي المختلف علي الدائرة النظرية .

٣-يمكن ترك عدد من شرائط النحاس بين كل ترقيم و ترقيم لأغراض الوصلات الانتقالية.

٤-إذا لم تتوافر الشرائط النحاسية علي الدائرة المطبوعة نظراً لصغر مساحة الدائرة المطبوعة نفسها أو كثرة العناصر الإلكترونية للدائرة النظرية المراد تنفيذها فإننا نتجه إلى إعادة استخدام الشرائط التي استخدمت سابقاً في توصيلات أخري و ذلك بفصل الجزء المراد استخدامه عن التوصيل السابق . و

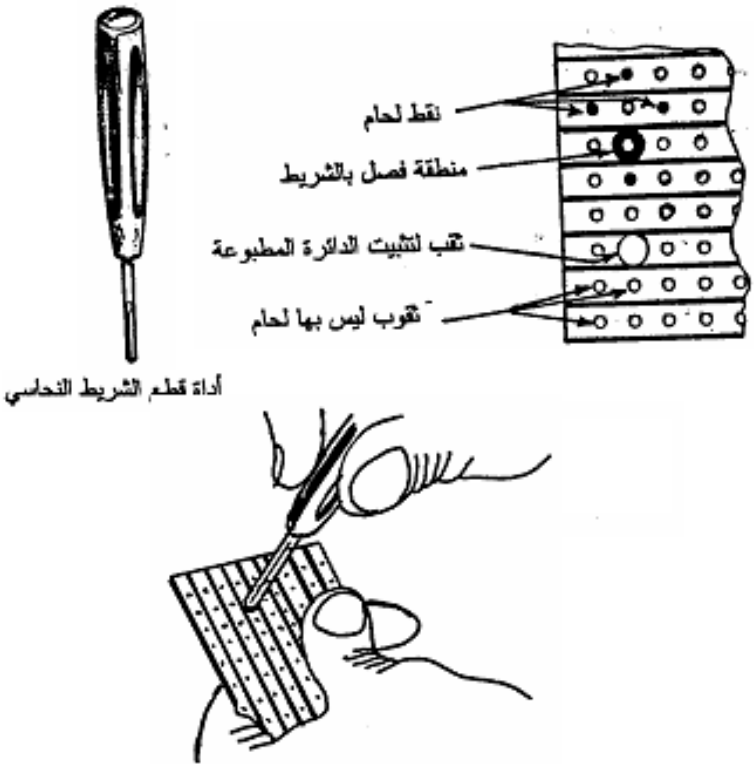
يتم هذا الفصل بواسطة قاطع الشرائط النحاسية الموضح بالشكل (٧-٣٧) . و يتضح في الدائرة المطبوعة ما يلي:

-الثقوب الصغيرة القطر المملوءة بالأسود تعبر عن نقطة لحام عنصر إلكتروني موضوع في جانب العناصر

-الثقوب الصغيرة القطر الغير مملوءة بالأسود لا تعبر عن نقطة لحام

-الثقوب الكبيرة التي تتوسطها ثقب صغير غير مملوءة بالأسود يعبر عن إحداث فصل في الشريط النحاسي بالدائرة المطبوعة و بالتالي يكون جزء الشريط النحاسي علي يمين الثقب الكبير مفصولاً كهربياً عن جزء الشريط النحاسي علي شمال الثقب ذاته .

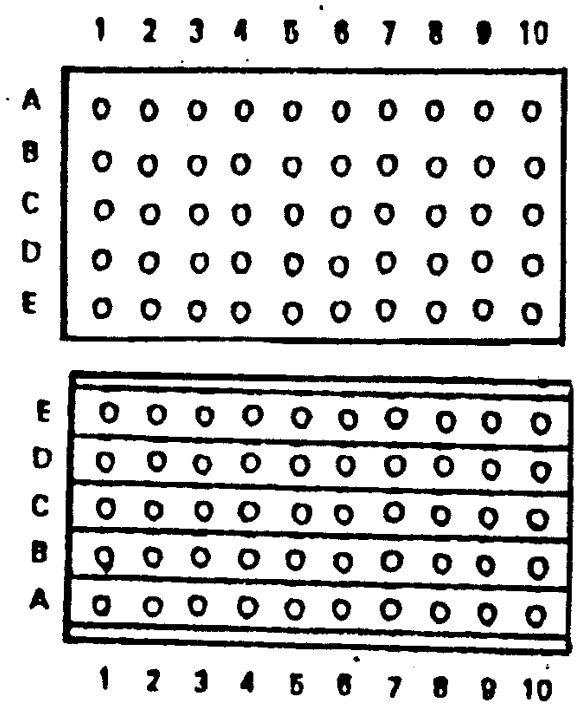
-الثقوب الكبيرة الغير مملوءة بالأسود تعني ثقب لتثبيت الدائرة المطبوعة بكابينة الجهاز، راجع الشكل (أ-٣).



شكل (أ-٣) يوضح كيفية فصل جزء من الشريط النحاسي كهربياً

الشكل (أ-٤) يوضح جانب العناصر و جانب اللحام لمساحة من الدائرة المطبوعة تحتوي علي خمسة شرائط و عشرة ثقوب بدون توصيل. المطلوب من الطالب محاولة رسم العناصر بالقلم الرصاص علي مساحة هذه الدائرة المطبوعة و محاولة تحقيق التوصيل بينها بمساعدة الشرائط النحاسية.

بعد إجراء نقط اللحامات بالدائرة المطبوعة الموضحة بالشكل (أ-٤) تعتبر الدائرة المطبوعة وحدة لها أطراف مثلها مثل باقي الوحدات (العناصر) ذات التثبيت الميكانيكي

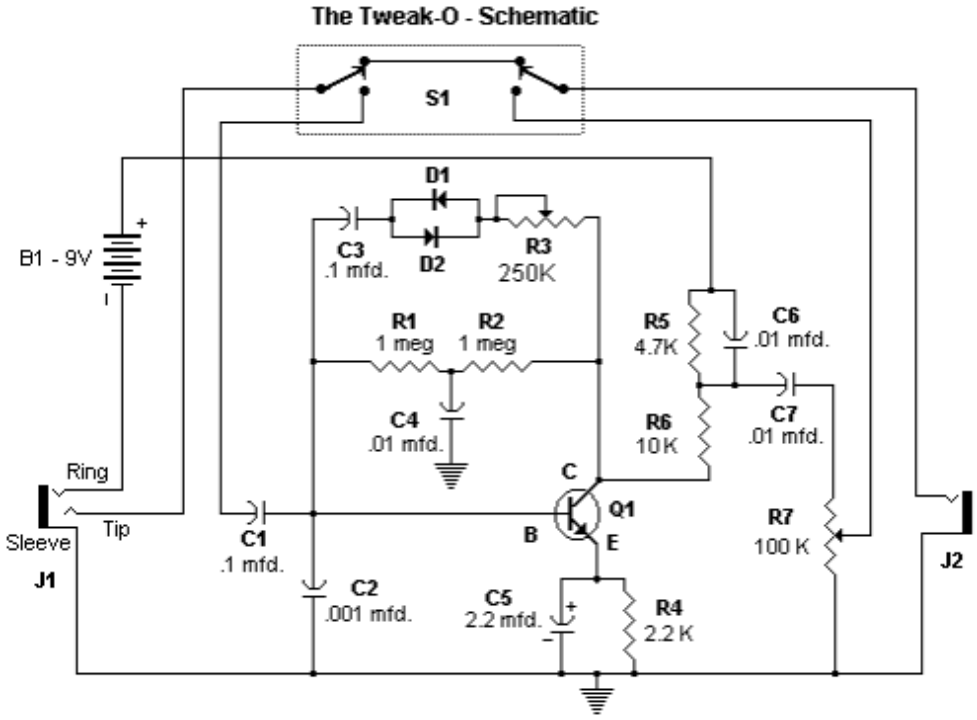


شكل (أ-٤) يوضح جانب العناصر و جانب اللحام للدائرة المطبوعة

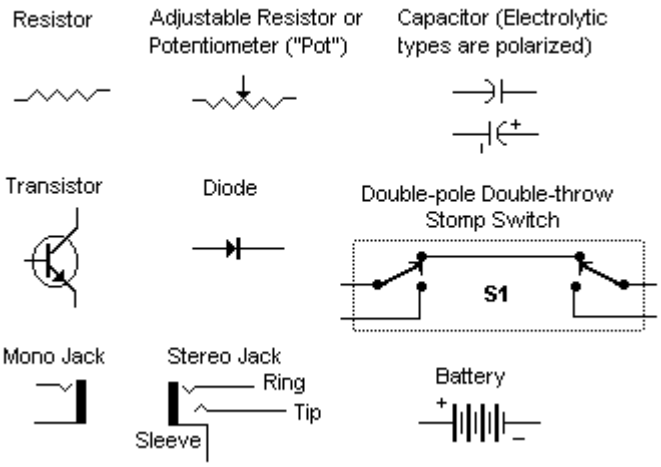
المنفصل . و تحتاج هذه الدائرة المطبوعة إلى تثبيت ميكانيكي . حيث يتم ثقبها و تثبيتها بمسمار وصامولة علي حامل معدني.

ثانياً : تطبيق الألواح المطبوعة ذات الوسائد النحاسية المثقبة :

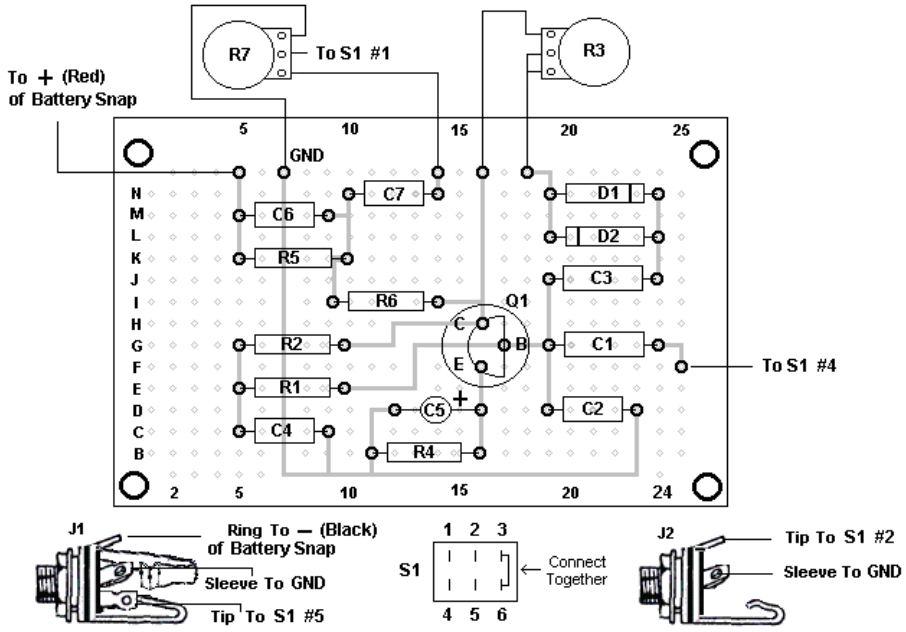
هذا النوع من ألواح الدائرة المطبوعة هو عبارة عن مادة عازلة عليها وسائد دائرية نحاسية مثقبة مركزياً. هذه الوسائد المثقبة تستخدم في التثبيت الميكانيكي للعناصر الالكترونية وذلك بإدخال أطراف العنصر من خلال الفتحة الخلالية ولحامها في الوجه النحاسي للوسادة. ويفضل عند إجراء اللحام بين اطراف العناصر السلكية أن يستخدم السلك العريان لتمثيل وصلات أو مسارات التوصيل بين أطراف العناصر.



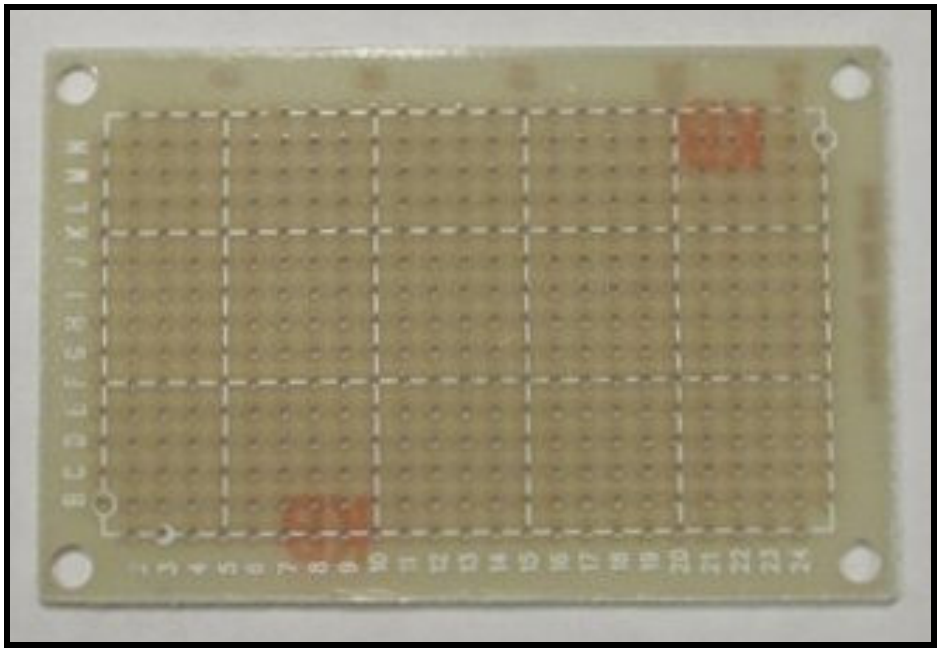
شكل رقم (أ–٥) يوضح الدائرة التخطيطية لأحد الدوائر الالكترونية المطلوب تنفيذ الشكل العملي على لوح الدائرة المطبوعة ذات الوسائد المثقبة



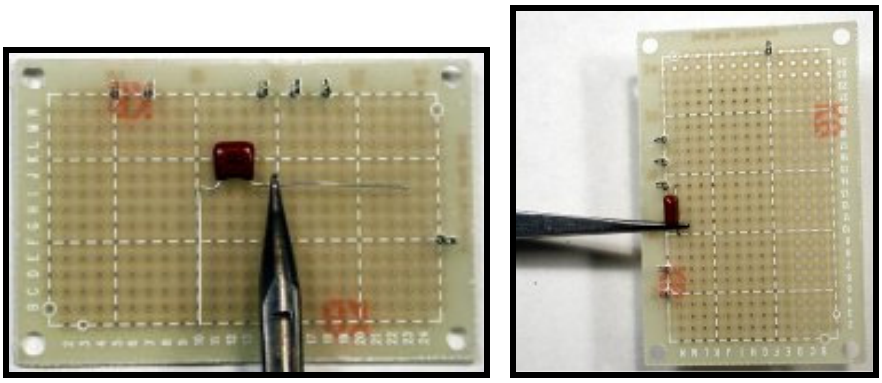
شكل رقم (أ–٦) يوضح العناصر المستخدمة في الدائرة الالكترونية بالشكل رقم (أ–٥)



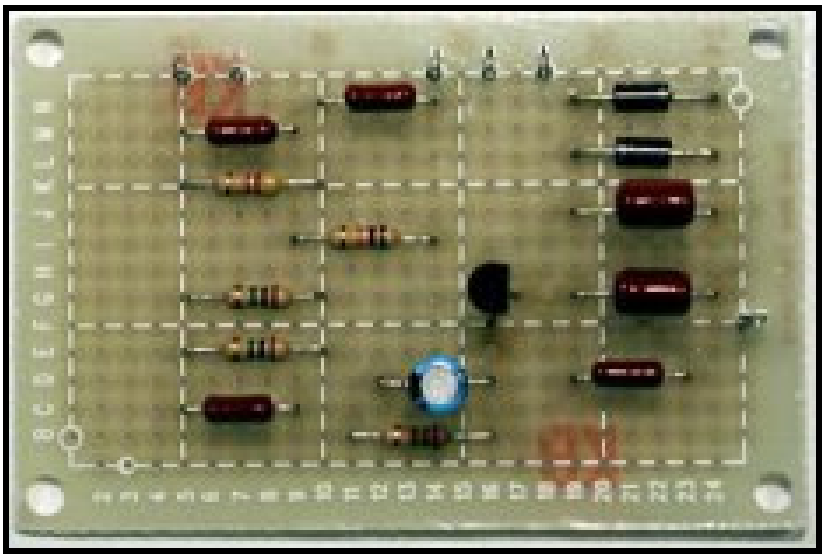
شكل رقم (أ–٧) يوضح لوح الدائرة المطبوعة ذات الوسائد المثقبة مثبت بها بعض العناصر أما العناصر الأخرى ذات تركيب خاص على جدران علبة الجهاز



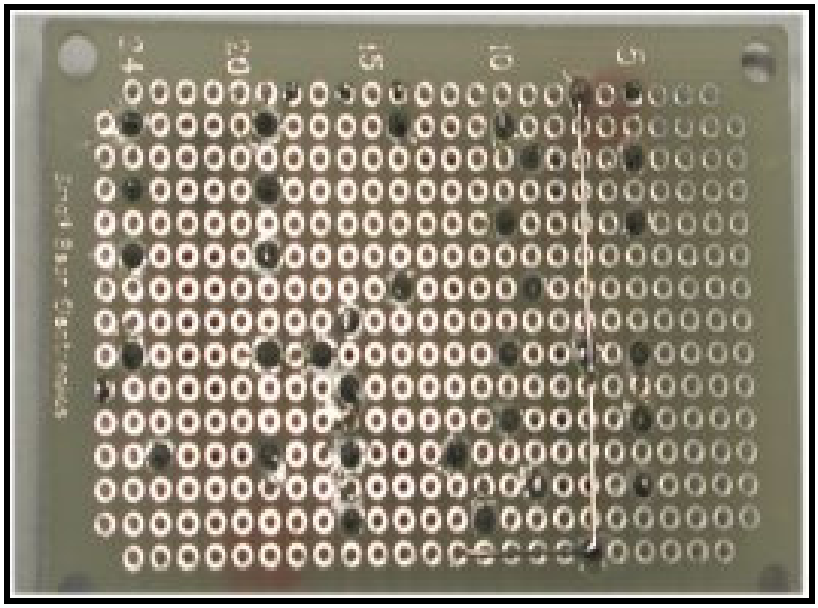
شكل رقم (أ–٨) يوضح يوضح لوح الدائرة المطبوعة ذو الوسائد المثقبة (جانب العناصر) لاحظ الترقيم بالارقام والحروف على حافتي اللوح



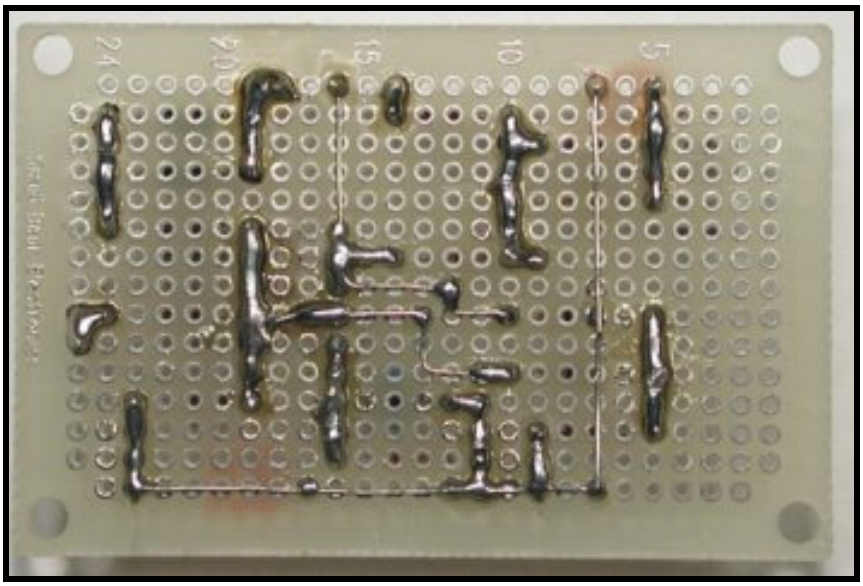
شكل رقم (أ–٩) يوضح كيفية وضع وتوزيع العناصر وتهيئة أطرافها



شكل رقم (أ-١٠) يوضح كيفية تثبيت العناصر على اللوح من ناحية جانب العناصر



شكل رقم (أ-١١) يوضح كيفية أطراف العناصر على اللوح من ناحية جانب اللحام (تم لحامها)



شكل رقم (أ-١٢) يوضح كيفية تمثيل الوصلات البينية باستخدام السلك العريان بين اطراف العناصر



شكل رقم (أ-١٣) يوضح كيفية تثبيت اللوح المطبوع في كابينة الجهاز

الملحق (ب)

تنفيذ العمل الفني مباشرة على الطبقة النحاسية للوح المطبوع

الطباعة الحرارية :

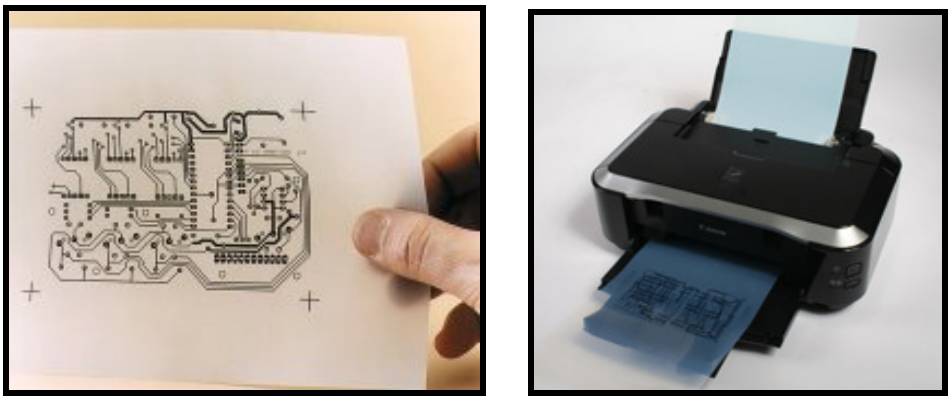
في هذه الطريقة يتم تصميم الشكل العملي Layout للوح الدائرة المطبوعة باستخدام أحد البرمجيات البسيطة. ويتم طباعته بواسطة طابعة حبر نفاث على ورق كوشيه. والحبر النفاث هذا من أهم خصائصه احتوائه على نسبة عالية جداً من البلاستيكِ المسحوقِ، الذي يَجْعلُ من هذا الحبر مقاوم مثالي للأحماض المستخدمة في الحفر الكيميائي لطبقة نحاس الدائرة المطبوعة.

ضِعْ وجه جانب الصورةَ لأسفل على السطح النحاسي للوح الدائرة المطبوعة تم تنظيفه وبعد ذلك تطبق عليها حرارة المكواة المنزلية لمدّة دقيقة أَو اثنتان. ثم تأخذ اللوح وتضعه في حمّام ماءِ الذي يعمل على تفكك الورق الكوشيه ويتَرْك الحبرِ ملتصقاً على اللوح. وبالتالي يمكننا الحصول على طبعة لنمط الدائرة المطلوب تنفيذها على الوجه النحاسي للوح الدائرة المطبوعة الخام.

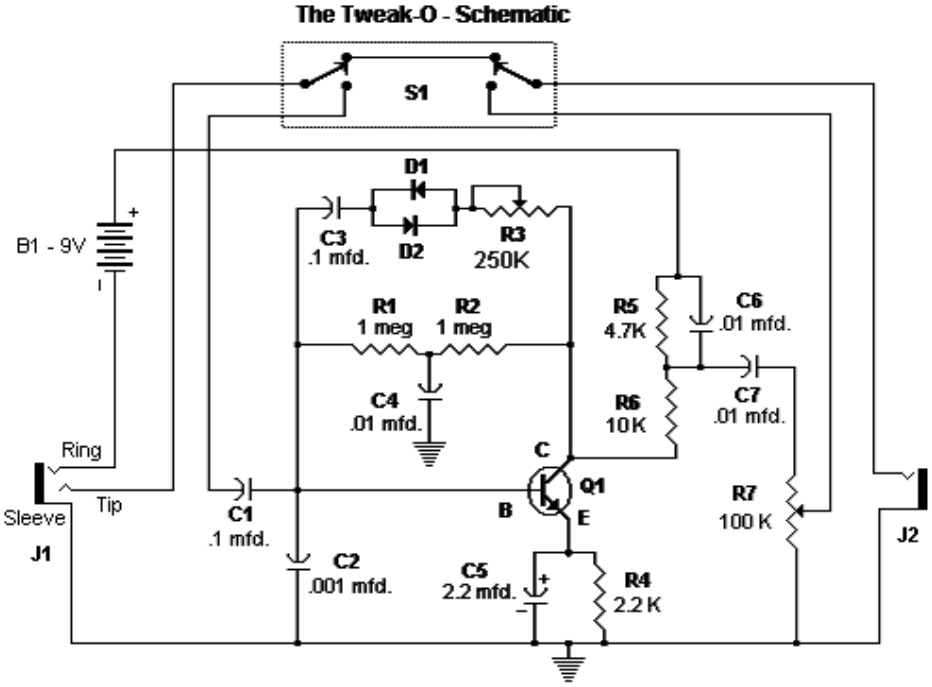
ولتشكيل الطبقة النحاسية يغطس اللوح في محلول حامضي، يتفاعل الحامض مع النحاسي العاري من الحبر ولا يستطيع الوصول إلى النحاس أسفل طباعة النمط. وبعد فترة زمنية تغادر سطح اللوح المدعوم العازل جزيئات النحاس ويتبقى طبقة النحاس أسفل الطباعة. بعد ذلك يتم تنظيف اللوح وازالة الحبر الواقي لإظهار النحاس الذي يمثل نمط الدائرة المطلوبة.

إذا حدث خطأ في النقل، (يُمْكِنُ أَنْ يَحْدثَ أحيانا)، فقط قم بمْسحُ الحبرَ مِنْ السطح النحاسي للوح بالأسيتونِ، ثم اعد طباعةِ شكل الدائرة وانقلِها مرة ثانيةً كما سبق. ويمكن اصلاح بعض العيوب في طباعة الحبر بواسطة نسخة أخرى مطبوعة من الشكل العملي حيث يتم مطابقتها على نفس الشكل ومعالجتها بمكواة الملابس.

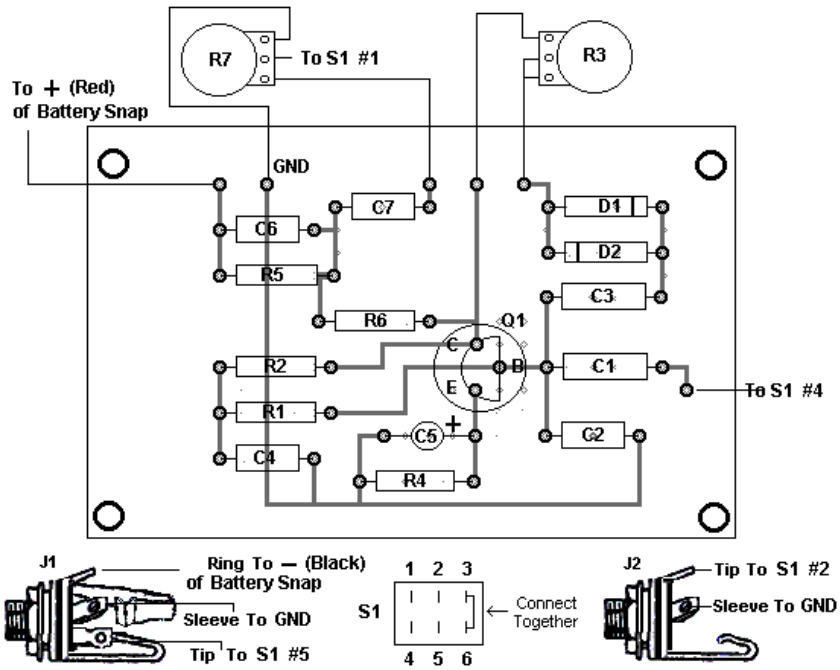
هذه الطريقةِ رخيصةُ وسريعةُ وسهلةُ لكن لَيستْ كافيةَ لصورِ الدوائر المعقّدةِ.



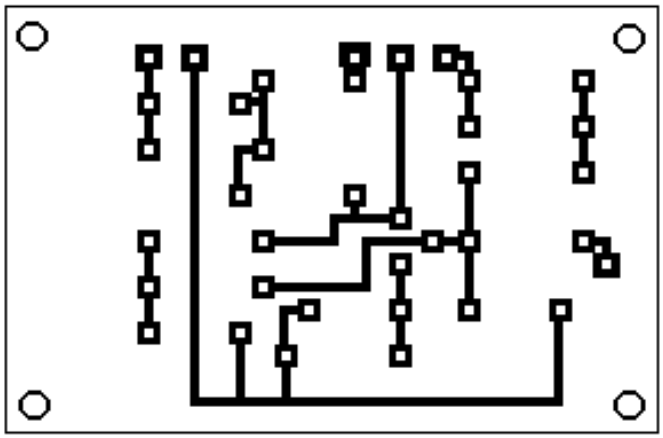
شكل رقم (ب–١) يوضح طباعة العمل الفني على ورق كلك للدائرة المطلوب تنفيذها



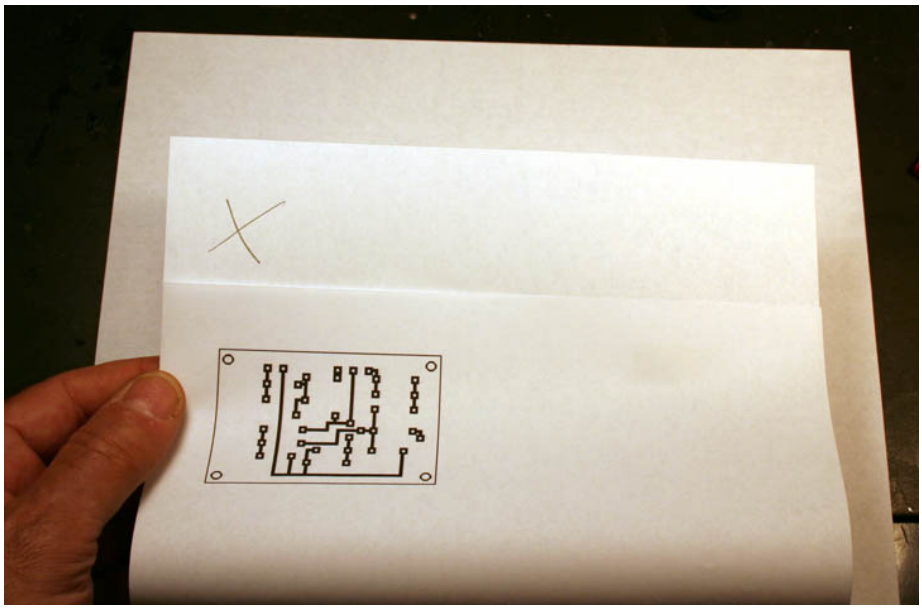
شكل رقم (ب–٢) يوضح الدائرة التخطيطية لأحد الدوائر الالكترونية



شكل رقم (ب-٣) يوضح كيفية التخطيط المبدئي للعمل الفني



شكل رقم (ب-٤) يوضح العمل الفني للشكل العملي الناتج من الحاسب الآلي



شكل رقم (ب–٥) يوضح العمل الفني للشكل العملي الناتج من الحاسب الآلي مع علام سطح الورق الكوشيه الموجود عليه الحبر



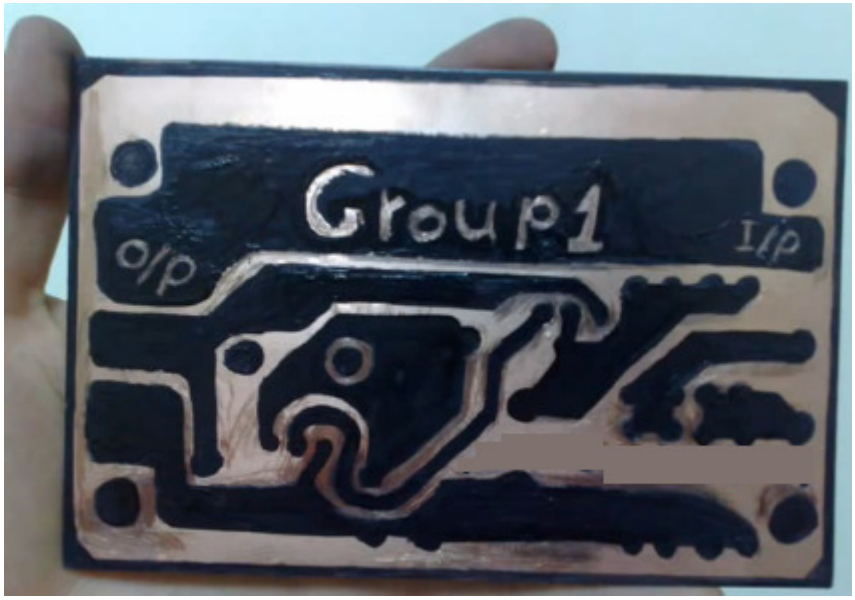
شكل رقم (ب–٦) يوضح عملية المعالجة الحرارية لطبع العمل الفني للشكل العملي الناتج من الحاسب الآلي والمطبوع على الورق الكوشيه وطبعه على السطح النحاسي للوح المطبوع

الطباعة اليدوية:

نقل الشكل العملي على الطبقة النحاسية مباشرة للوح المطبوع يتم بطريقتين :

نقل الشكل العملي بواسطة قلم الدوكو :

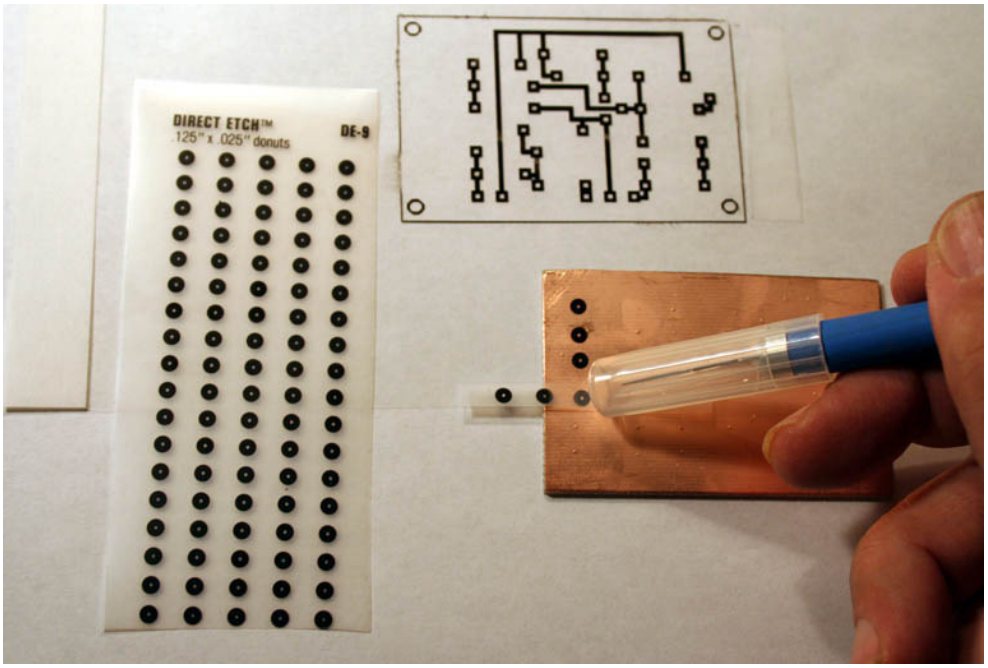
مباشرة على لوح الدائرة المطبوعة، في حالة الدوائر البسيطة جدا والإنتاجية الضئيلة، وبالتالي يتم إلغاء مرحلة الطباعة الضوئية، إلا أن هذه الطريقة غير دقيقة بالمرة. وتتم هذه الطريقة برسم أولاً الشكل العملي للدائرة المطلوب تنفيذها عملياً. ثم أخذ هذا الشكل ومحاولة طباعته على السطح النحاسي للوح المطبوع (يمكن ذلك بورق الكربون). ثم رفع ورقة الشكل العملي و ورقة الكربون ومحاولة الإعادة على اثر الرسم بقلم دوكو (مقاوم للأحماض). لتحديد عرض المسارات ودقة الوسائد يجب اختيار قطر السن المناسب للقلم الدوكو. بعد ذلك يدخل اللوح المطبوع مرحلة الحفر والتشكيل لسطح النحاس دون المناطق المدهونة طبقة دوكو والمعبرة عن نمط الدائرة المطلوب تنفيذها(الشكل العملي).



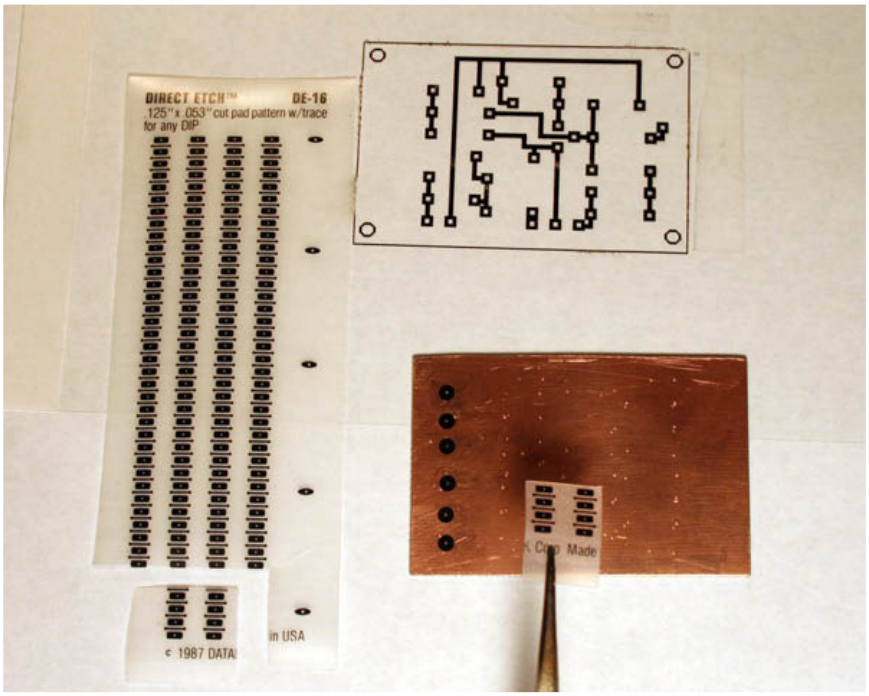
شكل رقم (ب–٧) يوضح كيفية تغطية مسارات ووسائد الشكل العملي لنمط الدائرة

نقل الشكل العملي بواسطة النقل الجاف لأنماط الوسائد والمسارات:

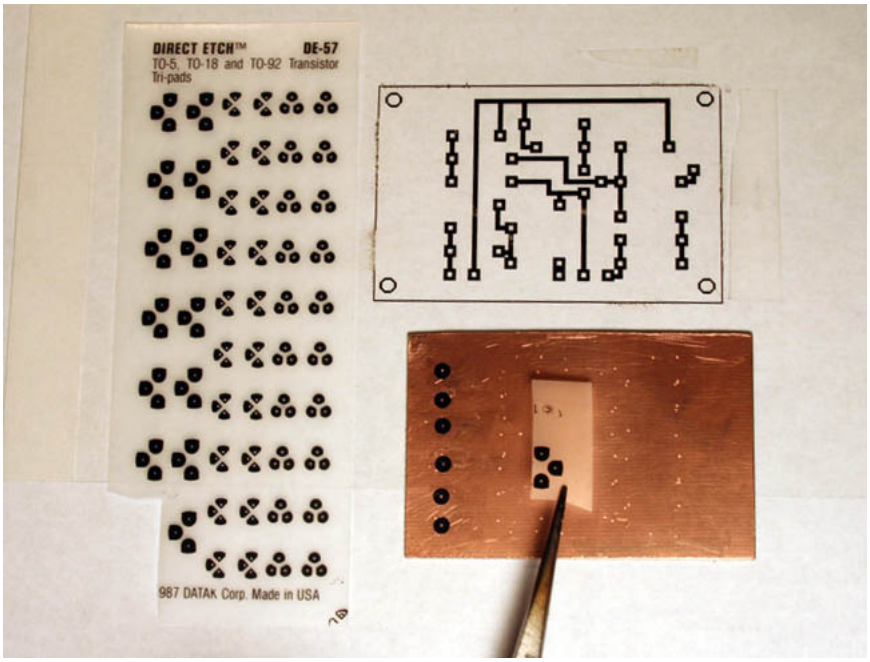
في هذه الطريقة يتم استخدام صفحات جاهزة بمفردات الدائرة المطبوعة dry transfers، في حالة الدوائر البسيطة جدا والإنتاجية الضئيلة على لوح الدائرة المطبوعة مباشرة، بشرط أن تكون الأشكال متكونة بحبر مقاوم للحامض الحفار. و بالتالي يتم إلغاء مرحلة الطباعة الضوئية. هذه الطريقة دقيقة وتحتاج لعناء ودقة في نقل مفردات الرسم وتوزيعها على اللوح. الاشكال التالية توضح بعض من خطوات التنفيذ.



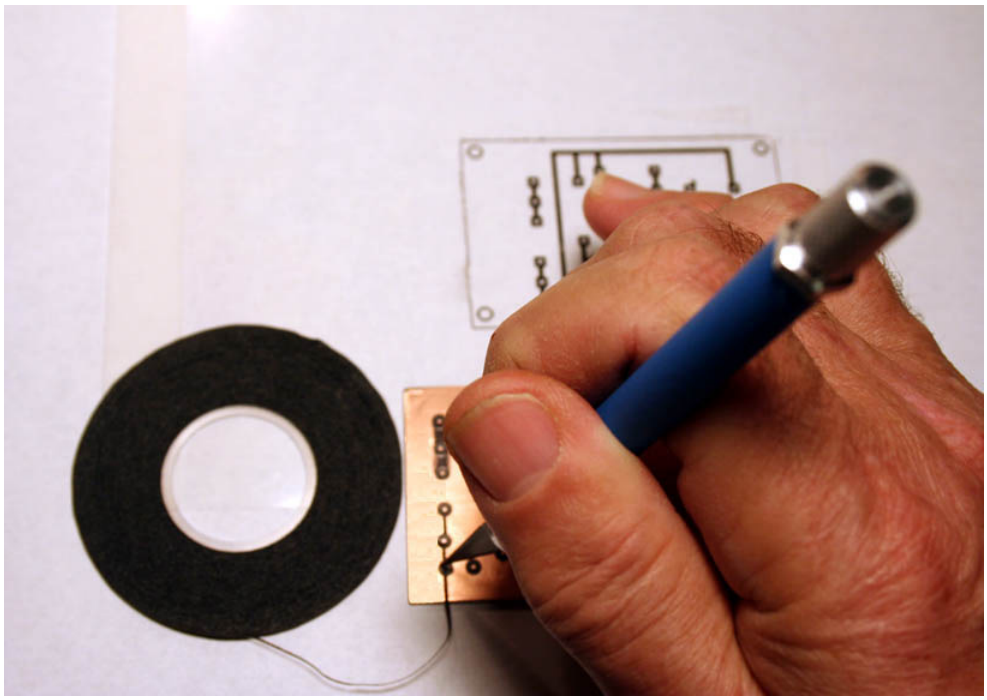
شكل رقم (ب–٨) يوضح كيفية نقل الوسائد بالضغط عليها لنزعها من الورق الحامل لها



شكل رقم (ب–٩) يوضح مجموعة أثر القدم لدائرة متكاملة ذات ثمانية أطراف



شكل رقم (ب–١٠) يوضح أثر قدم لترانزستور



شكل رقم (ب-١١) يوضح الشريط اللاصق المعبر عن الوصلات البينية بين الوسائد
(لاحظ طريقة قطعه بالحد القاطع)

الملحق (ج)

نماذج الإمتحانات والاجابات النموذجية

نماذج

التمارين التعليمية
وامتحان نهاية الفصل الدراسي الثاني للعام ٢٠٠٨/٢٠٠٩
والامتحانات العملية بصالة الحاسب



	الفرقة الأولى	**القسم العام**
	تاريخ الامتحان ٤ /٦ /٢٠٠٨	**زمن الامتحان: ٣ ساعات**
	الورقة الأولى	**د/جابر الأبيض**
كلية الهندسة الإلكترونية بمنوف	**رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية**	**انظر الورقة الثانية د. أسامة زهران**

تعليمات :

- **ممنوع استخدام الكوريكتور**
- **يستخدم القلم الرصاص أولاً للإجابة، و بعد التأكد من الإجابة الصحيحة يستخدم القلم الجاف لوضع علامة X في خانة الإجابة الصحيحة للسؤال في ورقة الإجابة**
- **لا يعتد بالإجابة عند اختيار إجابتين، و تحسب الإجابة صفراً**
- **قم بإعادة رسم جدول الإجابة الموجود في أخر صفحة في لوحة الرسم بنفس الأبعاد ثم أجب على الأسئلة التالية**

السؤال الأول (إجابة اختيارية) : ضع علامة X في خانة الإجابة الصحيحة لكل سؤال من الأسئلة التالية:

١	الرمز Symbol هو التمثيل البياني للعنصر المستخدم في	
	أ-لوح الدائرة المطبوعة Layout	ب-الرسم التخطيطي Schematic
	ج-رسم العناصر على ظهر اللوح المطبوع	د-جميع الإجابات السابقة.
٢	الهدف من رسم تغليف Package العنصر هو الحصول على	
	أ-أبعاد المجسم العملي للعنصر	ب-شكل توزيع الوسائد للعنصر
	ج-تحديد المسقط الهندسي للتثبيت	د-جميع الإجابات السابقة
٣	الدائرة التخطيطية Schematic هى الدائرة التي	
	أ- يمكن قراءة مواصفات العناصر كاملة	ب- يمكن قراءة الوظيفة من خلالها
	ج-يمكن قراءتها من اليمين لليسار	د-تعبر عن مراحل و وحدات الدائرة
٤	لوح الدائرة المطبوعة يطلق عليه بالإنجليزية	
	أ-Printed Circuit Board	ب-Printed Wiring Board
	ج-Layout	د-كل ما سبق
٥	من خواص السلك الهوائي Air wire	
	أ-توصيل غير موجه	ب-مطاطية
	ج-تتقاطع مع بعضها	د-كل ما سبق
٦	يقوم موجه التوصيل الآلي Autorouter	
	أ-بتوجيه الأسلاك الهوائية	ب-بتوجيه المسارات النحاسية track
	ج-بتوجيه الوصلات الكهربية Net	د-لا يوجد إجابة
٧	يقوم ثقب العبور Via	
	أ- بالتوصيل بين مسارين في طبقة واحدة	ب-بالتوصيل بين مسارين في طبقتين مختلفتين
	ج-بالتوصيل بين جزأي الدائرة التخطيطية	د-لتوصيل عنصر مثبت على واجهة الجهاز للدائرة
٨	ثقب العبور المستور Blind Via	

	أ-لربط مسارين في طبقة واحدة	ب- لربط مسار لطبقة القمة مع طبقة داخلية
	ج-لربط مسارين في طبقتين مختلفتين	د-لربط مسار لطبقة القمة مع مسار لطبقة القاع
٩	ثقب العبور المدفون Buried Via	
	أ- لربط مسارين في طبقتين مختلفتين	ب- لربط مسارين لطبقتين داخليتين
	ج- لتوصيل عنصر مثبت على واجهة الجهاز	د- لربط مسار لطبقة القمة مع مسار لطبقة القاع
١٠	ثقب العبور الدقيق Micro Via	
	أ- لربط مسارين لطبقتين داخليتين	ب-لربط الطبقة الخارجية مع طبقة داخلية تالية
	ج-لربط مسارين في طبقة واحدة	د- لربط مسارين في طبقتين مختلفتين
١١	اللب Core في الدوائر المطبوعة المتعددة الطبقات هو	
	أ-وسط عازل للوح المتعدد الطبقات	ب-الوسط العازل لطبقتين داخليتين
	ج-طبقة عازلة	د-طبقة عازلة يثبت علي وجهيها طبقتين نحاسيتين
١٢	الطبقة الرغوية العازلة Prepreg هى	
	أ-طبقة عازلة رغوية	ب-طبقة لاصقة بفعل الحرارة و الضغط
	ج-طبقة تقوم بالربط بين مجموعات اللب	د-كل ما سبق
١٣	يحدد فاحص قواعد التصميم Design Rule Check	
	أ- القواعد القياسية لتصميم اللوح	ب- حالات الخروج عن قواعد تصميم اللوح
	ج-قواعد تصميم اللوح التي تم اختيارها	د-حالات تطابق قواعد التصميم القياسية
١٤	يقوم فاحص القواعد الكهربائية Electrical Rule Check	
	أ-بمراجعة العلاقة بين التخطيطية و المطبوعة	ب-التنبيه عن أى خطأ لترابط التخطيطية مع المطبوعة
	ج-بمراجعة الرموز البيانية لعناصر الدائرة	د-بمراجعة الخرج و الدخل للدائرة
١٥	تستخدم الوسادة النحاسية Pad	
	أ- كأداة تثبيت لطرف العنصر	ب- كنقطة لحام لطرف العنصر
	ج-كمنطقة إسناد لطرف العنصر	د-كنقطة ربط ميكانيكي لطرف العنصر
١٦	إزاحة الثقب عن مركز الوسادة Breakout هو	
	أ- التسجيل الرديء بين الثقب و الوسادة	ب- إزاحة الثقب عن مركز الوسادة
	ج-تطابق مركز الثقب و مركز الوسادة	د-تساوي قطر الثقب و قطر الوسادة
١٧	الطرف الدبوسي Pin هو	
	أ-نقطة الاتصال على الرمز البياني	ب-خطوط التوصيل بين الرموز البيانية للعناصر
	ج-مسارت التوصيل في الدائرة التخطيطية	د-كل ما سبق
١٨	الحلقة المتبقية Annular Ring هى	
	أ-المساحة النحاسية المتبقية من الوسادة بعد ثقبها	ب- المساحة النحاسية للوسادة
	ج-المساحة النحاسية بين وسادتين	د-المساحة النحاسية بين ثلاث وسائد
١٩	الأيقونة Ratsnest تقوم	
	أ- بحساب أطوال الخطوط الهوائية الأقصر	ب- بحساب أطوال المسارات النحاسية الأقصر
	ج-بتهيئة الخطوط الهوائية	د-بتهيئة المسارات النحاسية الأقصر
٢٠	المسار العمومي Bus هو	
	أ-خطوط نقل البيانات Data	ب-المسار الذي يضم عدد من الوصلات الشبكية المتجاورة
	ج-خطوط العناوين Address	د-كل ما سبق
٢١	المختصر الانجليزي لعناصر التثبيت السطحي SMD يعني بالإنجليزية	

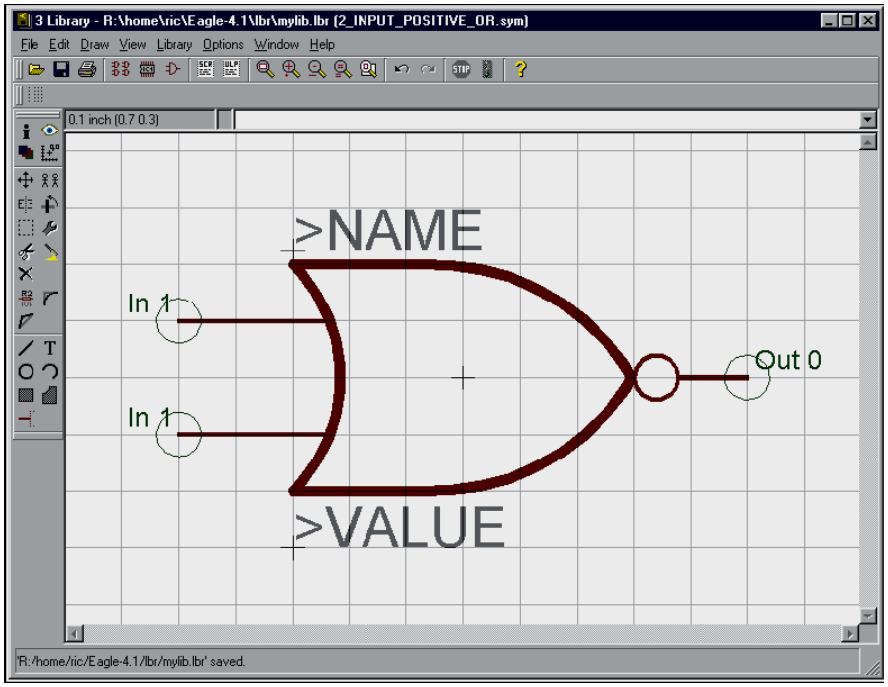
	أ- Surface Mount Devices	ب- Surface Maintain Devices
	ج-Surface Mount Designs	د-Surface Made Devices
٢٣	طبقة النحاس الأساسية Base Copper الملتصقة على اللوح المطبوع هى	
	أ- الطبقة النحاسية قبل تشكيلها	ب- الطبقة النحاسية بعد تشكيلها
	ج-الطبقة النحاسية و اللوح العازل	د-لا يوجد إجابة صحيحة
٢٤	النموذج الأولي Prototype لأى دائرة أو جهاز هو	
	أ-نواة تصميم أى خط انتاج	ب-الخطوات الأولى لوضع استراتيجية التصنيع
	ج-دراسة خطوات التصنيع الأولى لجهاز	د-كل ما سبق
٢٥	شكل الهبوط Landing Pattern في التجميع الإلكتروني هو	
	أ- مجموعة الوسائد لتغليف العنصر	ب- مجموعة الأطراف الدبوسية للعنصر
	د-مجموعة الوسائد للدائرة المطبوعة	د-لا يوجد إجابة صحيحة
٢٦	يعتبر واجهة التحكم Control Panel	
	أ- مركز تحكم البرنامج	ب-مدخل البرنامج
	د-نافذة البرنامج	د- لا يوجد إجابة صحيحة
٢٧	تقوم الأيقونة Smash	
	أ- بفصل نص الاسم و القيمة عن رمز العنصر	ب- بفصل الاسم عن قيمة رمز العنصر
	ج-بفصل القيمة عن اسم رمز العنصر	د-لا يوجد إجابة صحيحة
٢٨	تقوم الأيقونة Pinswap	
	أ- بمبادلة طرفين بمستويي مبادلة 0 و 0	ب- بمبادلة طرفين بمستويي مبادلة 50 و 0
	ج- بمبادلة طرفين بمستويي مبادلة 0 و80	د- بمبادلة طرفين بمستويي مبادلة 100 و 100
٢٩	تقوم الأيقونة Gateswap	
	أ-بمبادلة طرفى بوابة	ب-بمبادلة بوابتين لهما مستوى مبادلة 0 و 0
	ج- بمبادلة بوابتين لهما مستوى مبادلة 1 و1	د- بمبادلة طرفين لهما مستوى مبادلة 1 و 1
٣٠	الأيقونة Wire	
	أ-تعتبر كائن رسومي في نافذة المكتبة	ب-تعتبر توصيل كهربي في نافذة تخطيط اللوح
	ج-كل ما سبق	د-لا يوجد إجابة صحيحة

السؤال الثاني(اجابة اختيارية) : ضع علامة X في خانة الإجابة الصحيحة لكل سؤال من الأسئلة التالية:

٣١	 هذه الأيقونة تقوم: أ-بتثقيب اللوح المطبوع ب-بإعداد خواص الشبكة البيانية ج-كل ما سبق	٣٢	 هذه الأيقونة تقوم: أ- بتغيير الخواص في الكائن الرسومي ب-بصيانة الكائن الرسومي ج-بفك و ربط نقاط الوصل بالرسم
٣٣	 هذه الأيقونة تقوم : أ-بسحب البوابات الإلكترونية ب-بإضافة عناصر إلى مساحة الرسم ج-بتحريك العناصر على الرسم	٣٤	 هذه الأيقونة تقوم : أ- بمبادلة طرفى العنصر ب-بتوسيع المسافة بين طرفى العنصر ج-بتوصيل طرفى العنصر

٣٥	 هذه الأيقونة تقوم : أ- بتصغير أو تكبير الرسم ب-بتحريك أى كائن رسومي ج-كل ما سبق	٣٦	 هذه الأيقونة تقوم : أ- برسم الوصلات في محرر تخطيط اللوح ب-برسم الوصلات في المحرر التخطيطي ج-كل ما سبق
٣٧	 هذه الأيقونة تقوم : أ- برسم المسار العمومي باللوح المطبوع ب-برسم المسار العمومي بالدائرة التخطيطية ج-برسم كابل الفرعات المجمعة في الكابينة	٣٨	 هذه الأيقونة تقوم : أ- بفحص قواعد الكهرباء ERC ب-بتكبير العناصر لرؤيتها ج-لا يوجد إجابة صحيحة
٣٩	 هذه الأيقونة تقوم : أ-بحساب أقصر المسارات النحاسية ب- بحساب أقصر الخطوط الهوائية ج-كل ما سبق	٤٠	 هذه الأيقونة تقوم : أ- ببدء تشغيل الموجه الآلي قبل الإعداد ب-ببدء تشغيل الموجه الآلي بعد الإعداد ج-لا يوجد إجابة صحيحة

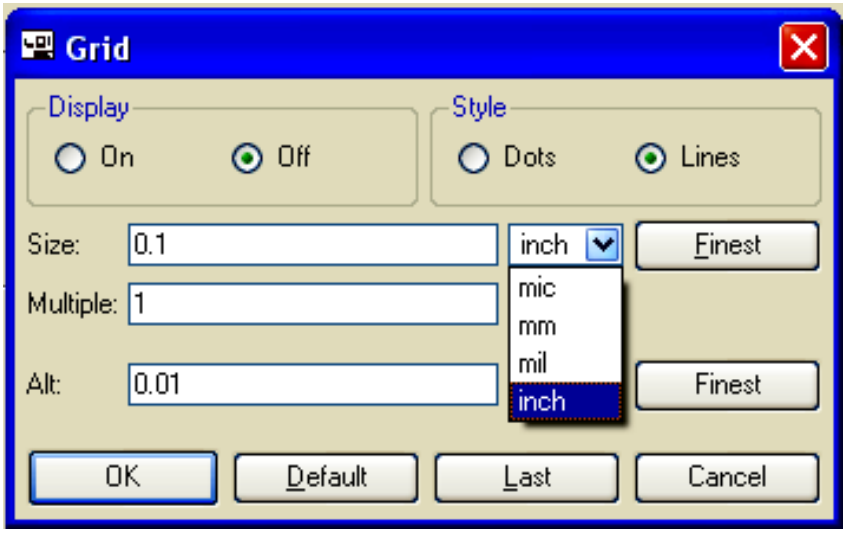
السؤال الثالث (صح و خطأ) : راجع الشكل التالي ثم ضع علامة X في خانة الاجابة الصحيحة لكل سؤال من الاسئلة التالية



٤١	النافذة المفتوحة أمامك لرسم رمز بياني	٤٢	المسافة بين خطوط الشبكة 0.1 بوصة

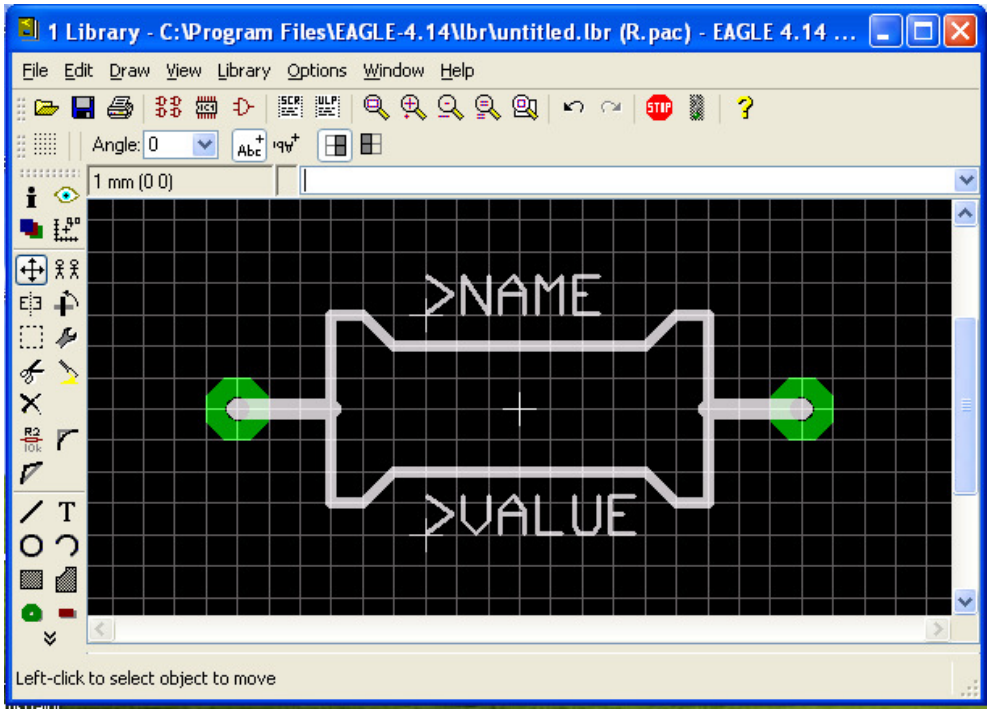
٤٣	يمكن التبديل بين أطراف الرمز الثلاث	٤٤	لا يمكن التبديل بين طرفي الدخل للرمز
٤٥	يقع مؤشر الرسم عند (0.7, 0.3)	٤٦	تعريف direction الدخل على الرسم Out
٤٧	تعريف direction الدخل على الرسم In	٤٨	خطوط الشبكة البيانية غير ظاهرة
٤٩	نقطة الأصل أو المنشأ للعنصر في المركز	٥٠	نقطة الأصل للعنصر ليست في المركز

السؤال الرابع (صح و خطأ) : راجع الشكل التالي ثم ضع علامة X في خانة الاجابة الصحيحة لكل سؤال من الاسئلة التالية



٥١	الإظهار للشبكة البيانية موجود	٥٢	خطوط الشبكة البيانية عبارة عن نقاط
٥٣	وحدة القياس المختارة هى المليمتر	٥٤	وحدة القياس المختارة هى البوصة
٥٥	المسافة بين خطوط الشبكة 0.1mil	٥٦	المسافة بين خطوط الشبكة 0.05 بوصة
٥٧	الإظهار لكل خط من خطوط الشبكة	٥٨	الإظهار لكل أربعة خطوط للشبكة البيانية
٥٩	للعودة للوحدات القياسية نضغط Default	٦٠	للعودة لوحدات سابقة نضغط Last

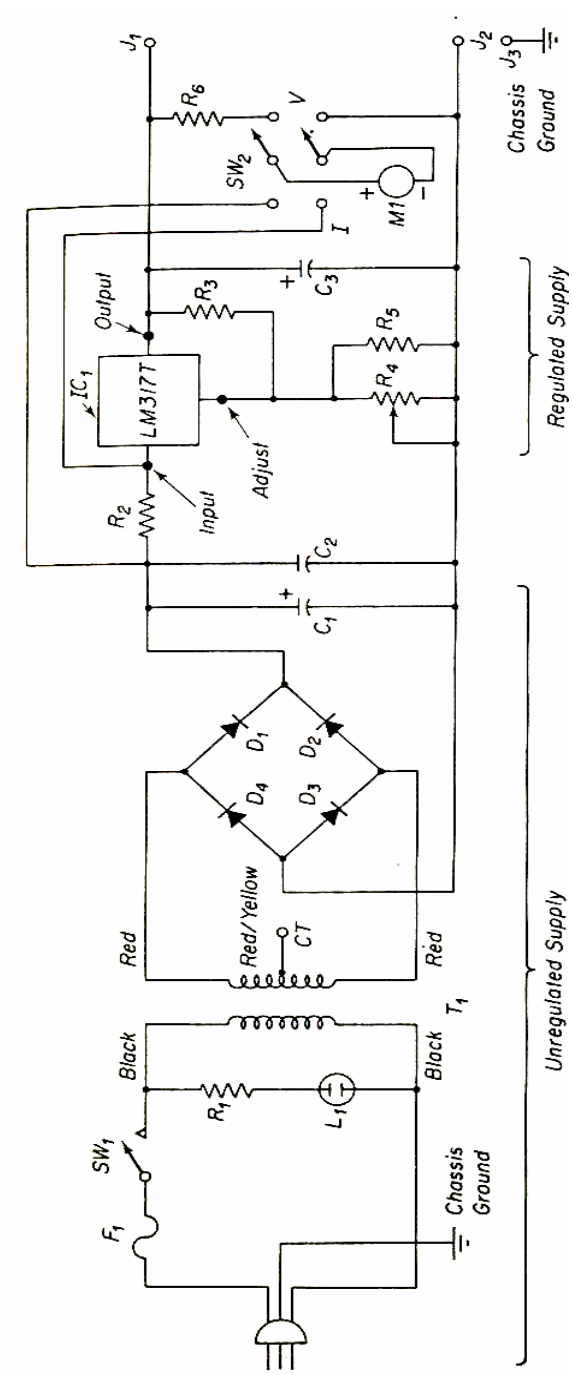
السؤال الخامس (صح و خطأ) : راجع الشكل التالي ثم ضع علامة X في خانة الاجابة الصحيحة لكل سؤال من الاسئلة التالية



٦١	النافذة المفتوحة أمامك لرسم رمز بياني	٦٢	المسافة بين خطوط الشبكة 0.1 بوصة
٦٣	يقع مؤشر الرسم عند (0.7, 0.3)	٦٤	نقطة الأصل أو المنشأ للعنصر في المركز
٦٥	نقطة الأصل للعنصر ليست في المركز	٦٦	النافذة المفتوحة أمامك لرسم تغليف عنصر
٦٧	طول جسم العنصر يساوي ١٢ مليمتر	٦٨	قطر جسم العنصر في المنتصف ٤ مليمتر
٦٩	الأيقونة النشطة هى أيقونة الوسادة Pad	٧٠	الأيقونة النشطة هى أيقونة النسخ Copy
٧١	الأيقونة النشطة هى أيقونة السلك Wire	٧٢	الأيقونة النشطة هى أيقونة التحريك Move
٧٣	المسافة بين خطوط الشبكة ١مليمتر	٧٤	اسم الملف untitled.lbr(R.sym)

	أ	ب	ج	د		أ	ب	ج	د
١		○			٢				○
٣		○			٤				○
٥				○	٦		○		
٧		○			٨		○		
٩		○			١٠		○		
١١		○			١٢				○
١٣		○			١٤		○		
١٥		○			١٦	○			
١٧	○				١٨	○			
١٩	○				٢٠				○
٢١	○				٢٢				
٢٣	○				٢٤				○
٢٥	○		○		٢٦	○			
٢٧	○				٢٨				○
٢٩			○		٣٠		○		
٣١		○			٣٢	○			
٣٣		○			٣٤	○			
٣٥		○			٣٦	○			
٣٧		○			٣٨	○			
٣٩		○			٤٠		○		

	✓	×		✓	×
٤١	○		٤٢	○	
٤٣		○	٤٤		○
٤٥	○		٤٦		○
٤٧	○		٤٨		○
٤٩	○		٥٠		○
٥١		○	٥٢		○
٥٣		○	٥٤	○	
٥٥		○	٥٦		○
٥٧	○		٥٨		○
٥٩	○		٦٠	○	
٦١		○	٦٢		○
٦٣		○	٦٤	○	
٦٥		○	٦٦	○	
٦٧	○		٦٨	○	
٦٩		○	٧٠		○
٧١		○	٧٢	○	
٧٣	○		٧٤	○	



التمرين الأول لمادة رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية بصالة الحاسب

المطلوب تكوين ملفات تنفيذ الدائرة الإلكترونية لوحدة تغذية قدرة مستمرة متغيرة الجهد على برنامج EAGLE

قائمة بعناصر الدائرة و بعض المواصفات

Parts list

IC_1 — LM317T — positive adjustable regulator (TO–220 package) with #6 fiber shoulder washer and thermalloy #43–77–2 thermofilm mica washer

D_1 through D_4 — 1N4001 diodes 1 A @ 50 PIV or equivalent

T_1 — transformer, secondary 25.2 Vac, 2 A Triad F41–X or equivalent

F_1 — fuse, 400 mA, 250 Vac slow-blo

SW_1 — SPST slide switch

SW_2 — DPDT slide switch

M_1 — 1 mA full scale current, 1000 Ω meter resistance meter movement, ranges (0 to 25 Vdc and 0 to 1 Adc)

J_1 through J_3 — banana jacks

L_1 – NE51

R_1 — 220 kΩ, $\frac{1}{2}$ W, 10%

R_2 — 1Ω, 2 W, 1%

R_3 — 240 Ω, $\frac{1}{2}$ W, 5%

R_4 — 10 kΩ, 2 W linear taper potentiometer

R_5 — 5.6 kΩ, $\frac{1}{2}$ W, 10%

R_6 — 24 kΩ, $\frac{1}{2}$ W, 5%

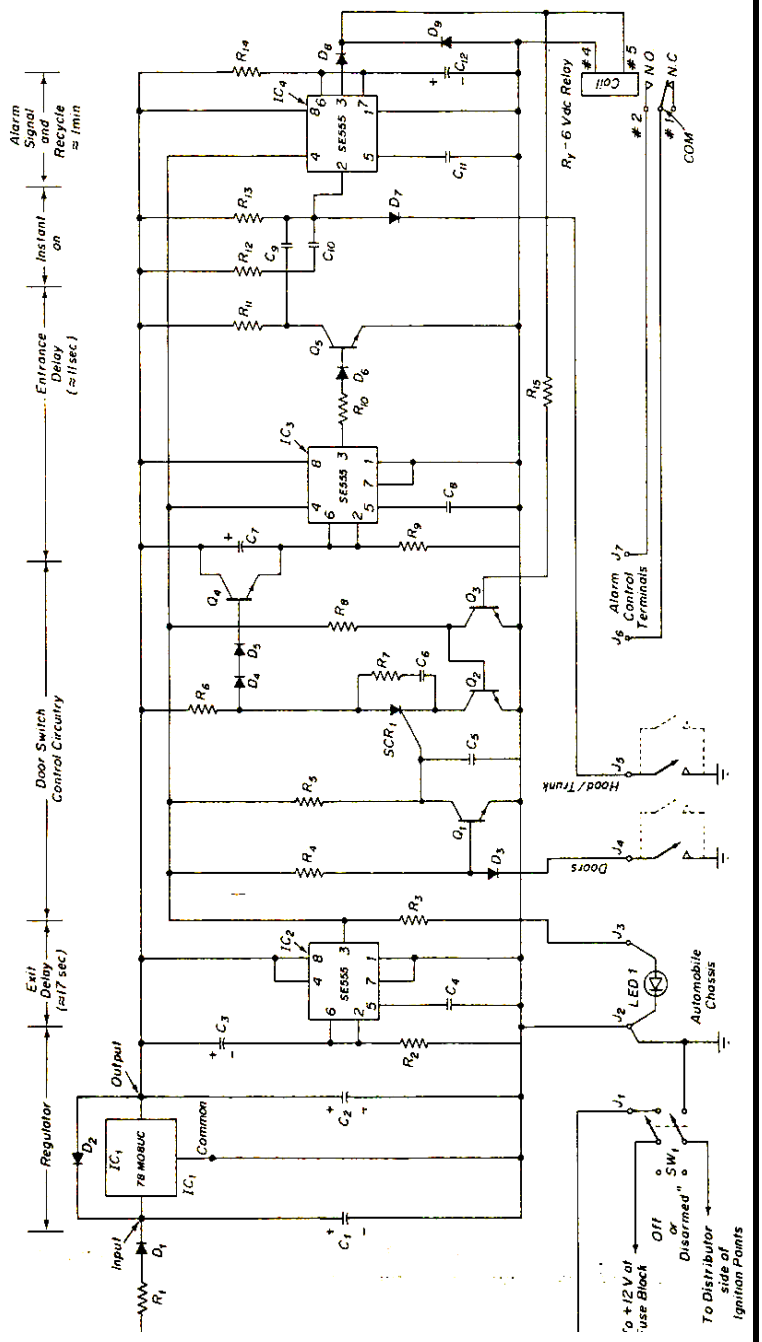
C_1 — 1000 μF, 50 WVDC electrolytic capacitor

C_2 — 0.1 μF, 100 WVDC disc capacitor

C_3 — 10 μF, 35 WVDC tantalum electrolytic capacitor

التمرين الثاني لمادة رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية بصالة الحاسب

المطلوب تكوين ملفات تنفيذ الدائرة الإلكترونية لنظام إنذار تأمين السيارة على برنامجEAGLE



قائمة بعناصر الدائرة و بعض المواصفات

Parts list

IC_1 – 78MO8UC positive 8 Vdc IC regulator
IC_2, IC_3, IC_4 – SE555 timer
Ry – 6Vdc relay (Guardian series 1345 pc mount SPDT – NO)
SCR_1 – C106B1
Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5 – 2N3904 NPN transistor
D_1, D_3, D_7, D_8, D_9 – 1N4001 diodes (I_o = 1A PIV = 50V)
D_2, D_4, D_5, D_6 – 1N914 diodes (I_o = 10mA PIV = 75V)
$C_1, C_2, C_3, C_7, C_{12}$ – 4.7μF@ 15 WVDC tantalum capacitors
C_5, C_6, C_9 – 0.1μF disc capacitors
C_4, C_8, C_{11} – 0.01μF disc capacitors
C_{10} – 0.001μF disc capacitor
R_1 – 15Ω, $\frac{1}{2}$ W, 10%
R_2 – 3.3MΩ, $\frac{1}{2}$ W, 10%
R_3 – 220Ω $\frac{1}{2}$ W, 10%
R_4 – 100KΩ, $\frac{1}{2}$ W, 10%
R_5, R_{10} – 10KΩ, $\frac{1}{2}$ W, 10%
R_6 – 180Ω, $\frac{1}{2}$ W, 10%
R_7 – 10Ω, $\frac{1}{2}$ W, 10%
$R_8, R_{11}, R_{12}, R_{15}$ – 1KΩ, $\frac{1}{2}$ W, 10%
R_9 – 2.2MΩ, $\frac{1}{2}$ W, 10%
R_{13} – 22KΩ, $\frac{1}{2}$ W, 10%
R_{14} – 10MΩ, $\frac{1}{2}$ W, 10%
SW_1 – DPDT switch
LED_1 – Light emitting diode
Seven terminal barrier strip and assorted hardware

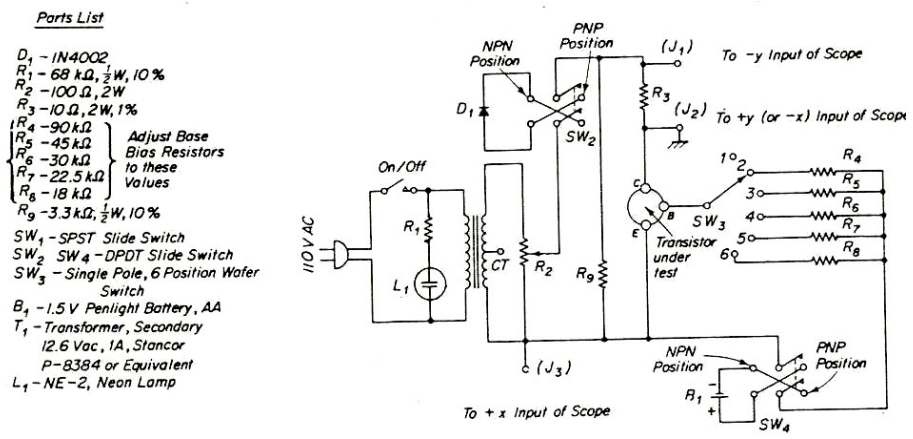
الاختبار العملي (١)

لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية

الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٧/٢٠٠٨م

اسم الطالب:	**توقيع الطالب:**
الرقم الأكاديمي:	**الرقم المسلسل بالكشف:**
رقم الفصل :	**الدرجة:**
ملاحظات:	

المطلوب رسم الدائرة التخطيطية الموجودة أمامك بالشكل التالي و تحويلها إلى دائرة مطبوعة ثم الإجابة على نفس الورقة على الأسئلة التي تتلو الشكل:



١-اذكر العناصر التي لا ترسم في الدائرة التخطيطية:

٢-أين ستوضع العناصر المرفوعة (السابقة) ؟

٣-أذكر مساحة الدائرة المطبوعة التي سيتم تثبيت عناصر الدائرة التخطيطية عليها:

٤-اكتب عدد التحذيرات و الأخطاء التي ظهرت عند تنفيذ الدائرة التخطيطية، هل تم علاجها؟

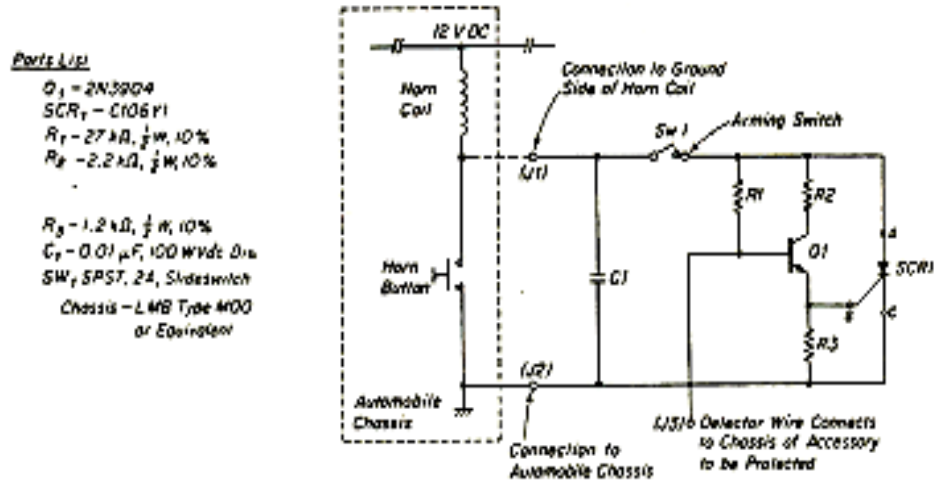
الاختبار العملي (٢)

لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية

الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٧/٢٠٠٨م

اسم الطالب:	توقيع الطالب:
الرقم الأكاديمي:	الرقم المسلسل بالكشف:
رقم الفصل :	الدرجة:
ملاحظات:	

المطلوب رسم الدائرة التخطيطية الموجودة أمامك بالشكل التالي و تحويلها إلى دائرة مطبوعة ثم الإجابة على نفس الورقة على الأسئلة التي تتلو الشكل (اعتبر جزء الدائرة المرسوم في الشكل المتقطع غير موجود):



١-اذكر العناصر التي لا ترسم في الدائرة التخطيطية:

٢-أين ستوضع العناصر المرفوعة (السابقة) ؟

٣-أذكر مساحة الدائرة المطبوعة التي سيتم تثبيت عناصر الدائرة التخطيطية:

٤-اكتب عدد التحذيرات و الأخطاء التي ظهرت عند تنفيذ الدائرة التخطيطية، هل تم علاجها؟

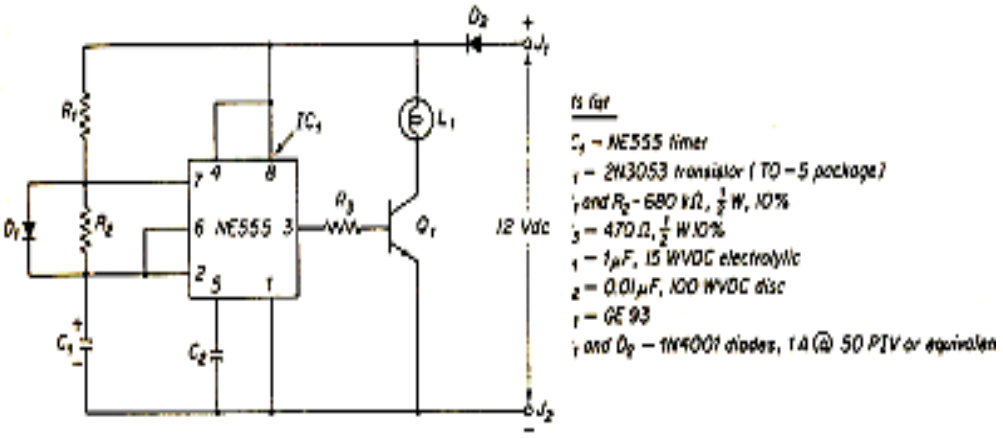
الاختبار العملي (٣)

لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية

الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٧/٢٠٠٨م

اسم الطالب:	توقيع الطالب:
الرقم الأكاديمي:	الرقم المسلسل بالكشف:
رقم الفصل :	الدرجة:
ملاحظات:	

المطلوب رسم الدائرة التخطيطية الموجودة أمامك بالشكل التالي و تحويلها إلى دائرة مطبوعة ثم الإجابة على نفس الورقة على الأسئلة التي تتلو الشكل:



١-اذكر العناصر التي لا ترسم في الدائرة التخطيطية:

٢-أين ستوضع العناصر المرفوعة (السابقة) ؟

٣-أذكر مساحة الدائرة المطبوعة التي سيتم تثبيت عناصر الدائرة التخطيطية:

٤-اكتب عدد التحذيرات و الأخطاء التي ظهرت عند تنفيذ الدائرة التخطيطية، هل تم علاجها؟

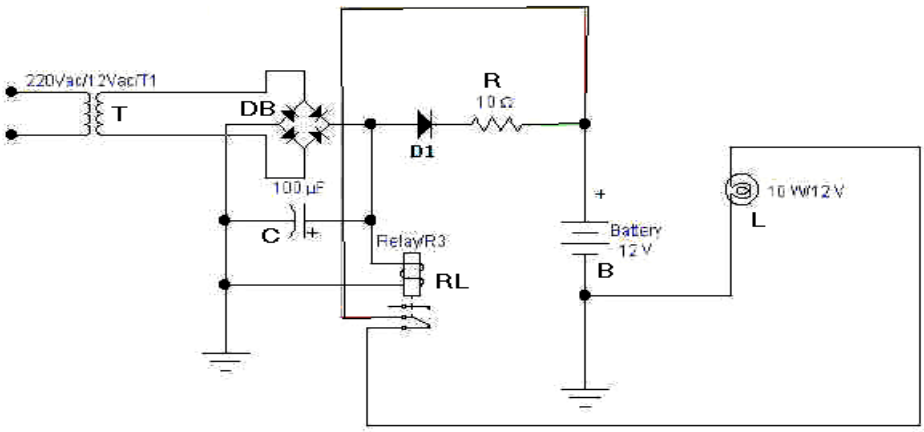
الاختبار العملي (٤)

لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية

الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٧/٢٠٠٨م

اسم الطالب:	توقيع الطالب:
الرقم الأكاديمي:	الرقم المسلسل بالكشف:
رقم الفصل :	الدرجة:
ملاحظات:	

المطلوب رسم الدائرة التخطيطية الموجودة أمامك بالشكل التالي و تحويلها إلى دائرة مطبوعة ثم الإجابة على نفس الورقة على الأسئلة التي تتلو الشكل:



١-اذكر العناصر التي لا ترسم في الدائرة التخطيطية:

٢-أين ستوضع العناصر المرفوعة (السابقة) ؟

٣-أذكر مساحة الدائرة المطبوعة التي سيتم تثبيت عناصر الدائرة التخطيطية:

٤-اكتب عدد التحذيرات و الأخطاء التي ظهرت عند تنفيذ الدائرة التخطيطية، هل تم علاجها؟

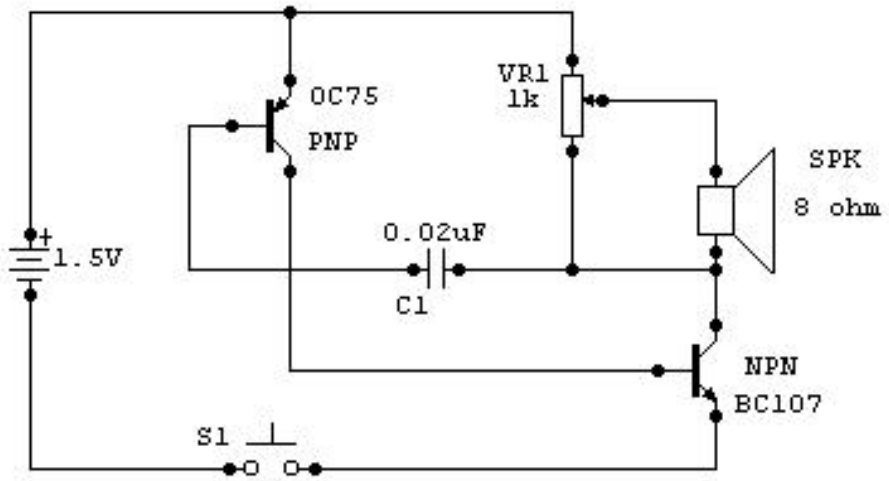
الاختبار العملي (٥)

لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية

الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٧/٢٠٠٨م

اسم الطالب:	توقيع الطالب:
الرقم الأكاديمي:	الرقم المسلسل بالكشف:
رقم الفصل :	الدرجة:
ملاحظات:	

المطلوب رسم الدائرة التخطيطية الموجودة أمامك بالشكل التالي و تحويلها إلى دائرة مطبوعة ثم الإجابة على نفس الورقة على الأسئلة التي تتلو الشكل:



١-اذكر العناصر التي لا ترسم في الدائرة التخطيطية:

٢-أين ستوضع العناصر المرفوعة (السابقة) ؟

٣-أذكر مساحة الدائرة المطبوعة التي سيتم تثبيت عناصر الدائرة التخطيطية:

٤-اكتب عدد التحذيرات و الأخطاء التي ظهرت عند تنفيذ الدائرة التخطيطية، هل تم علاجها؟

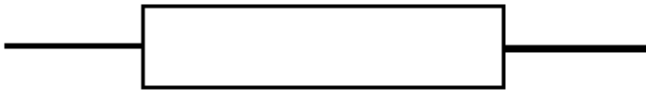
الاختبار العملي (٦)

لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية

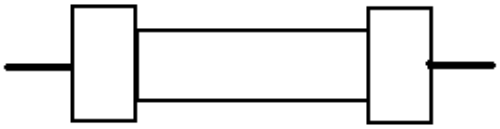
الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٧/٢٠٠٨م

اسم الطالب:	توقيع الطالب:
الرقم الأكاديمي:	الرقم المسلسل بالكشف:
رقم الفصل :	الدرجة:
ملاحظات:	

المطلوب رسم عنصر المقاومة الموجود أمامك بالشكل التالي و هو يشمل الآتي:
الرمز البياني
التغليف



الرمز البياني



التغليف

أبعاد الأشكال السابقة متروك لك تقديرها بشرط أن لا تخرج عن حدود الأبعاد للعناصر الموجودة بمكتبات البرنامج

اعتبر اسم النبيطة (اسم المكتبة الجديدة) هو رقمك التسلسلي بكشف الأسماء للفصل وقم بحفظه في مكتبة البرنامج بهذا الرقم

الاختبار العملي (٧)

لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية

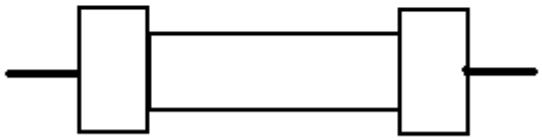
الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٧/٢٠٠٨م

اسم الطالب:	توقيع الطالب:
الرقم الأكاديمي:	الرقم المسلسل بالكشف:
رقم الفصل :	الدرجة:
ملاحظات:	

المطلوب رسم عنصر المكثف السيراميك الموجود أمامك بالشكل التالي و هو يشمل الآتي:
الرمز البياني
التغليف



الرمز البياني



التغليف

أبعاد الأشكال السابقة متروك لك تقديرها بشرط أن لا تخرج عن حدود الأبعاد للعناصر الموجودة بمكتبات البرنامج

اعتبر اسم النبيطة (اسم المكتبة الجديدة) هو رقمك التسلسلي بكشف الأسماء للفصل وقم بحفظه في مكتبة البرنامج بهذا الرقم

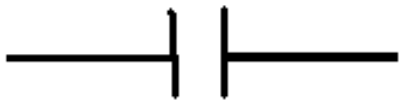
الاختبار العملي (٨)

لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية

الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٧/٢٠٠٨م

اسم الطالب:	توقيع الطالب:
الرقم الأكاديمي:	الرقم المسلسل بالكشف:
رقم الفصل :	الدرجة:
ملاحظات:	

المطلوب رسم عنصر المكثف السيراميك الموجود أمامك بالشكل التالي و هو يشمل الآتي:
الرمز البياني
التغليف



الرمز البياني



التغليف

أبعاد الأشكال السابقة متروك لك تقديرها بشرط أن لا تخرج عن حدود الأبعاد للعناصر الموجودة بمكتبات البرنامج

اعتبر اسم النبيطة (اسم المكتبة الجديدة) هو رقمك التسلسلي بكشف الأسماء للفصل وقم بحفظه في مكتبة البرنامج بهذا الرقم

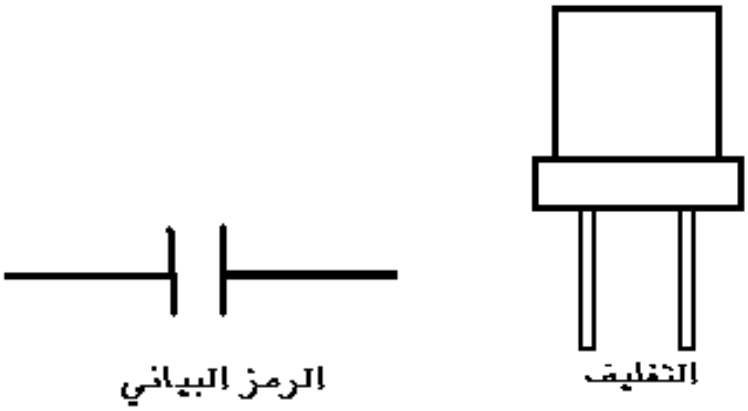
الاختبار العملي (٩)

لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية

الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٧/٢٠٠٨م

اسم الطالب:	توقيع الطالب:
الرقم الأكاديمي:	الرقم المسلسل بالكشف:
رقم الفصل :	الدرجة:
ملاحظات:	

المطلوب رسم عنصر المكثف السيراميك الموجود أمامك بالشكل التالي و هو يشمل الآتي:
الرمز البياني
التغليف



أبعاد الأشكال السابقة متروك لك تقديرها بشرط أن لا تخرج عن حدود الأبعاد للعناصر الموجودة بمكتبات البرنامج

اعتبر اسم النبيطة (اسم المكتبة الجديدة) هو رقمك التسلسلي بكشف الأسماء للفصل وقم بحفظه في مكتبة البرنامج بهذا الرقم

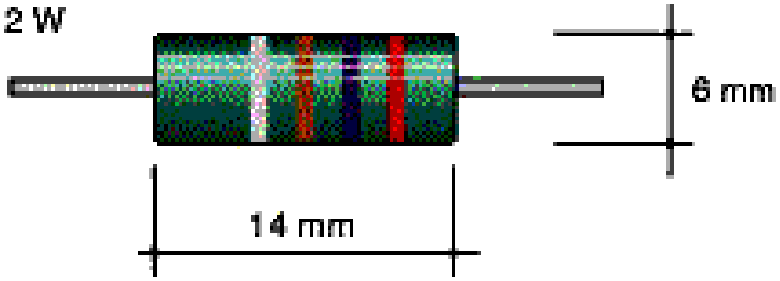
الاختبار العملي (١٠)

لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية

الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٧/٢٠٠٨م

اسم الطالب:	توقيع الطالب:
الرقم الأكاديمي:	الرقم المسلسل بالكشف:
رقم الفصل :	الدرجة:
ملاحظات:	

المطلوب رسم عنصر المقاومة الكربونية الموضحة أمامك بالشكل التالي مع الأخذ في الاعتبار الأبعاد المذكورة عليها :



اعتبر اسم النبيطة (اسم المكتبة الجديدة) هو رقمك التسلسلي بكشف الأسماء للفصل وقم بحفظه في مكتبة البرنامج بهذا الرقم

أجب عن الأسئلة التالية :

١-اكتب قيمة مستوى التبديل للأطراف الدبوسية swaplevel لرمز عنصر المقاومة

٢-اكتب تعريف direction كل طرف دبوسي لرمز عنصر المقاومة

٣-اكتب قيمة المسافة size بين خطوط الشبكة GRID المستخدمة عند رسم رمز هذا العنصر

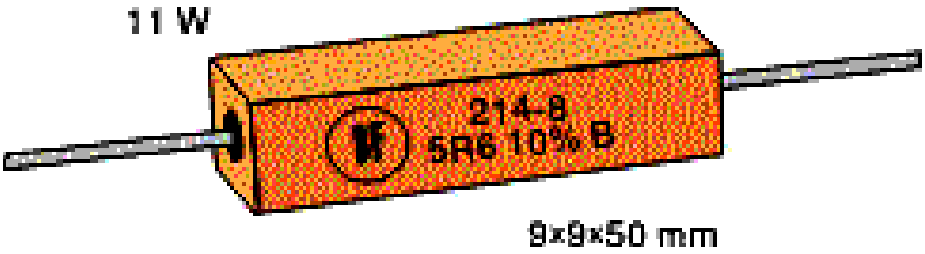
الاختبار العملي (١١)

لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية

الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٧/٢٠٠٨م

اسم الطالب:	توقيع الطالب:
الرقم الأكاديمي:	الرقم المسلسل بالكشف:
رقم الفصل :	الدرجة:
ملاحظات:	

المطلوب رسم عنصر المقاومة الكربونية الموضحة أمامك بالشكل التالي مع الأخذ في الاعتبار الأبعاد المذكورة عليها :



اعتبر اسم النبيطة (اسم المكتبة الجديدة) هو رقمك التسلسلي بكشف الأسماء للفصل وقم بحفظه في مكتبة البرنامج بهذا الرقم

أجب عن الأسئلة التالية :

١-اكتب قيمة مستوى التبديل للأطراف الدبوسية swaplevel لرمز عنصر المقاومة

٢-اكتب تعريف direction كل طرف دبوسي لرمز عنصر المقاومة

٣-اكتب قيمة المسافة size بين خطوط الشبكة GRID المستخدمة عند رسم رمز هذا العنصر

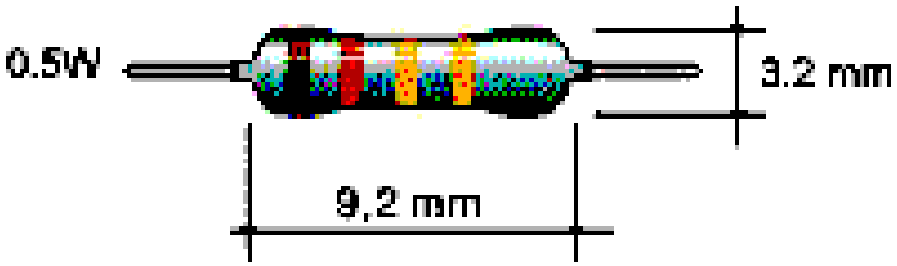
الاختبار العملي (١٢)

لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية

الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٧/٢٠٠٨م

اسم الطالب:	توقيع الطالب:
الرقم الأكاديمي:	الرقم المسلسل بالكشف:
رقم الفصل :	التاريخ :
ملاحظات:	الدرجة:

المطلوب رسم عنصر المقاومة الكربونية الموضحة أمامك بالشكل التالي مع الأخذ في الاعتبار الأبعاد المذكورة عليها :



اعتبر اسم النبيطة (اسم المكتبة الجديدة) هو رقمك التسلسلي بكشف الأسماء للفصل وقم بحفظه في مكتبة البرنامج بهذا الرقم

أجب عن الأسئلة التالية :

١-اكتب قيمة مستوى التبديل للأطراف الدبوسية swaplevel لرمز عنصر المقاومة

٢-اكتب تعريف direction كل طرف دبوسي لرمز عنصر المقاومة

٣-اكتب قيمة المسافة size بين خطوط الشبكة GRID المستخدمة عند رسم رمز هذا العنصر

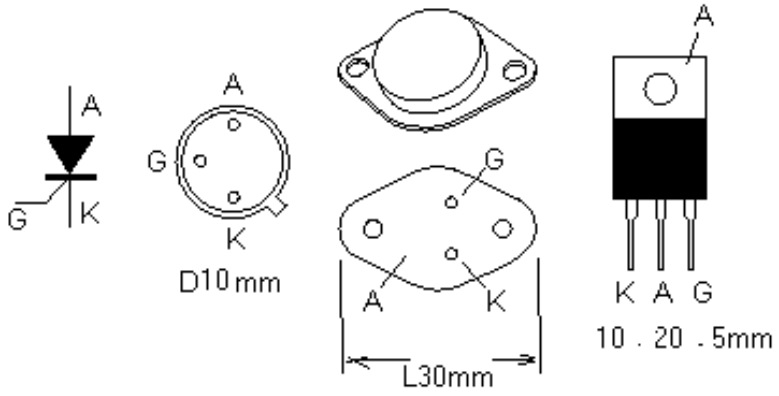
الاختبار العملي (١٣)

لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية

الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٧/٢٠٠٨م

اسم الطالب:	توقيع الطالب:
الرقم الأكاديمي:	الرقم المسلسل بالكشف:
رقم الفصل :	الدرجة:
ملاحظات:	

المطلوب رسم عنصر موحد السيلكون المحكوم SCR بأحد تكنولوجيات التغليف الموضحة أمامك بالشكل التالي مع الأخذ في الاعتبار الأبعاد المذكورة عليها :



اعتبر اسم النبيطة (اسم ملفك الجديد) هو رقمك التسلسلي بكشف الأسماء للفصل وقم بحفظه في مكتبة البرنامج بهذا الرقم

أجب عن الأسئلة التالية :

١-اكتب قيمة مستوى التبديل للأطراف الدبوسية swaplevel لرمز موحد السيلكون

٢-اكتب تعريف direction كل طرف دبوسي لرمز موحد السيلكون

٣-اكتب قيمة المسافة size بين خطوط الشبكة GRID المستخدمة عند رسم رمز هذا العنصر

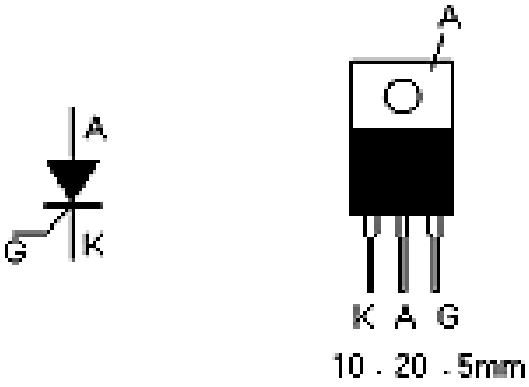
الاختبار العملي (١٤)

لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية

الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٧/٢٠٠٨م

اسم الطالب:	توقيع الطالب:
الرقم الأكاديمي:	الرقم المسلسل بالكشف:
رقم الفصل :	الدرجة:
ملاحظات:	

المطلوب رسم عنصر موحد السيلكون المحكوم SCR بتكنولوجيا التغليف الموضحة أمامك بالشكل التالي مع الأخذ في الاعتبار الأبعاد المذكورة عليها :



اعتبر اسم النبيطة (اسم ملفك الجديد) هو رقمك التسلسلي بكشف الأسماء للفصل وقم بحفظه في مكتبة البرنامج بهذا الرقم

أجب عن الأسئلة التالية :

١-اكتب قيمة مستوى التبديل للأطراف الدبوسية swaplevel لرمز موحد السيلكون

٢-اكتب تعريف direction كل طرف دبوسي لرمز موحد السيلكون

٣-اكتب قيمة المسافة size بين خطوط الشبكة GRID المستخدمة عند رسم رمز هذا العنصر

الاختبار العملي (١٥)

لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية

الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٧/٢٠٠٨م

اسم الطالب:	توقيع الطالب:
الرقم الأكاديمي:	الرقم المسلسل بالكشف:
رقم الفصل :	تاريخ امتحان الطالب :
ملاحظات:	الدرجة:

المطلوب رسم عنصر المقاومة الكربونية الموضحة أمامك بالشكل التالي مع الأخذ في الاعتبار الأبعاد المذكورة عليها :



اعتبر اسم النبيطة (اسم المكتبة الجديدة) هو رقمك التسلسلي بكشف الأسماء للفصل وقم بحفظه في مكتبة البرنامج بهذا الرقم

أجب عن الأسئلة التالية :

١-اكتب قيمة مستوى التبديل للأطراف الدبوسية swaplevel لرمز عنصر المقاومة

٢-اكتب تعريف direction كل طرف دبوسي لرمز عنصر المقاومة

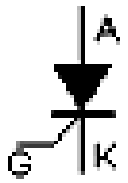
٣-اكتب قيمة المسافة size بين خطوط الشبكة GRID المستخدمة عند رسم رمز هذا العنصر

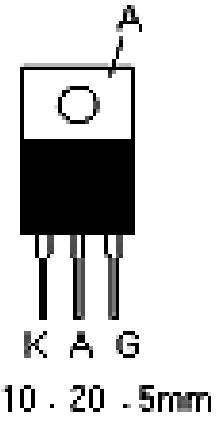
الاختبار العملي (١٦)

لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية
الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٨/٢٠٠٧م

اسم الطالب:	توقيع الطالب:
الرقم الأكاديمي:	الرقم المسلسل بالكشف:
رقم الفصل :	تاريخ امتحان الطالب :
ملاحظات:	الدرجة:

المطلوب رسم عنصر موحد السيلكون المحكوم SCR بتكنولوجيا التغليف الموضحة أمامك بالشكل التالي مع الأخذ في الاعتبار الأبعاد المذكورة عليها :





اعتبر اسم النبيطة (اسم ملفك الجديد) هو رقمك التسلسلي بكشف الأسماء للفصل وقم بحفظه في مكتبة البرنامج بهذا الرقم
المطلوب رسم أصغر مقاس للتغليف

أجب عن الأسئلة التالية :
١-اكتب قيمة مستوى التبديل للأطراف الدبوسية swaplevel لرمز موحد السيلكون

٢-اكتب تعريف direction كل طرف دبوسي لرمز موحد السيلكون

٣-اكتب قيمة المسافة size بين خطوط الشبكة GRID المستخدمة عند رسم رمز هذا العنصر

الاختبار العملي (١٧)

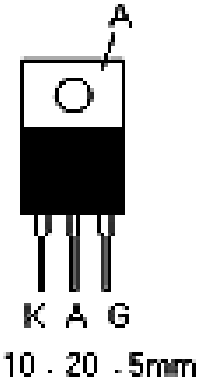
لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية

الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٧/٢٠٠٨م

اسم الطالب:	توقيع الطالب:
الرقم الأكاديمي:	الرقم المسلسل بالكشف:
رقم الفصل :	تاريخ امتحان الطالب :
ملاحظات:	الدرجة:

المطلوب رسم عنصر موحد السيلكون المحكوم SCR بتكنولوجيا التغليف الموضحة أمامك بالشكل التالي مع الأخذ في الاعتبار الأبعاد المذكورة عليها :





اعتبر اسم النبيطة (اسم ملفك الجديد) هو رقمك التسلسلي بكشف الأسماء للفصل وقم بحفظه في مكتبة البرنامج بهذا الرقم
المطلوب رسم أكبر مقاس للتغليف

أجب عن الأسئلة التالية :
١-اكتب قيمة مستوى التبديل للأطراف الدبوسية swaplevel لرمز موحد السيلكون

٢-اكتب تعريف direction كل طرف دبوسي لرمز موحد السيلكون

٣-اكتب قيمة المسافة size بين خطوط الشبكة GRID المستخدمة عند رسم رمز هذا العنصر

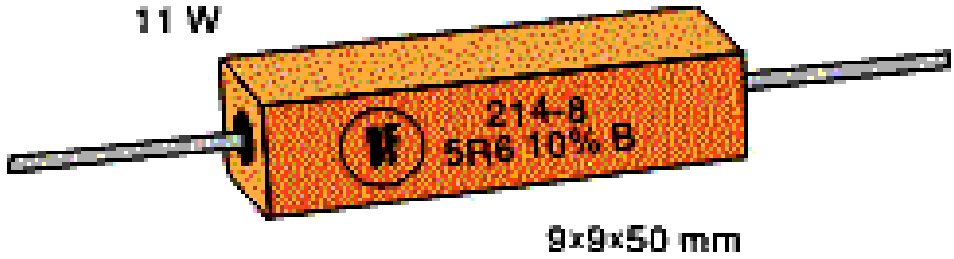
الاختبار العملي (١٨)

لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية

الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٧/٢٠٠٨م

اسم الطالب:	توقيع الطالب:
الرقم الأكاديمي:	الرقم المسلسل بالكشف:
رقم الفصل :	تاريخ امتحان الطالب :
ملاحظات:	الدرجة:

المطلوب رسم عنصر المقاومة الكربونية الموضحة أمامك بالشكل التالي مع الأخذ في الاعتبار الأبعاد المذكورة عليها :



اعتبر اسم النبيطة (اسم المكتبة الجديدة) هو رقمك التسلسلي بكشف الأسماء للفصل وقم بحفظه في مكتبة البرنامج بهذا الرقم
المطلوب رسم أصغر مقاس للتغليف

أجب عن الأسئلة التالية :
١-اكتب قيمة مستوى التبديل للأطراف الدبوسية swaplevel لرمز عنصر المقاومة

٢-اكتب تعريف direction كل طرف دبوسي لرمز عنصر المقاومة

٣-اكتب قيمة المسافة size بين خطوط الشبكة GRID المستخدمة عند رسم رمز هذا العنصر

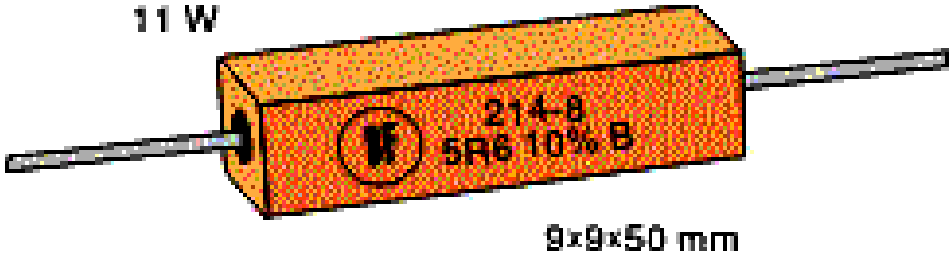
الاختبار العملي (١٩)

لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية

الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٧/٢٠٠٨م

اسم الطالب:	توقيع الطالب:
الرقم الأكاديمي:	الرقم المسلسل بالكشف:
رقم الفصل :	تاريخ امتحان الطالب :
ملاحظات:	الدرجة:

المطلوب رسم عنصر المقاومة الكربونية الموضحة أمامك بالشكل التالي مع الأخذ في الاعتبار الأبعاد المذكورة عليها :



اعتبر اسم النبيطة (اسم المكتبة الجديدة) هو رقمك التسلسلي بكشف الأسماء للفصل وقم بحفظه في مكتبة البرنامج بهذا الرقم
المطلوب رسم أكبر مقاس للتغليف

أجب عن الأسئلة التالية :
١-اكتب قيمة مستوى التبديل للأطراف الدبوسية swaplevel لرمز عنصر المقاومة

٢-اكتب تعريف direction كل طرف دبوسي لرمز عنصر المقاومة

٣-اكتب قيمة المسافة size بين خطوط الشبكة GRID المستخدمة عند رسم رمز هذا العنصر

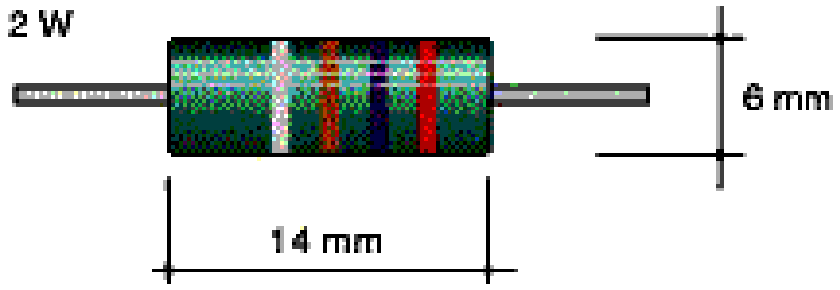
الاختبار العملي (٢٠)

لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية

الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٧/٢٠٠٨م

اسم الطالب:	توقيع الطالب:
الرقم الأكاديمي:	الرقم المسلسل بالكشف:
رقم الفصل :	تاريخ امتحان الطالب :
ملاحظات:	الدرجة:

المطلوب رسم عنصر المقاومة الكربونية الموضحة أمامك بالشكل التالي مع الأخذ في الاعتبار الأبعاد المذكورة عليها :



اعتبر اسم النبيطة (اسم المكتبة الجديدة) هو رقمك التسلسلي بكشف الأسماء للفصل وقم بحفظه في مكتبة البرنامج بهذا الرقم
المطلوب رسم أصغر مقاس للتغليف

أجب عن الأسئلة التالية :
١-اكتب قيمة مستوى التبديل للأطراف الدبوسية swaplevel لرمز عنصر المقاومة

٢-اكتب تعريف direction كل طرف دبوسي لرمز عنصر المقاومة

٣-اكتب قيمة المسافة size بين خطوط الشبكة GRID المستخدمة عند رسم رمز هذا العنصر

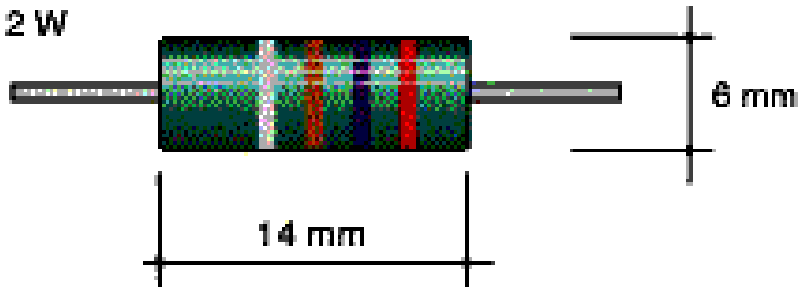
الاختبار العملي (٢١)

لمقرر رسم العناصر و الدوائر الإلكترونية

الفصل الدراسي الثاني للعام الجامعي ٢٠٠٧/٢٠٠٨م

اسم الطالب:	توقيع الطالب:
الرقم الأكاديمي:	الرقم المسلسل بالكشف:
رقم الفصل :	تاريخ امتحان الطالب :
ملاحظات:	الدرجة:

المطلوب رسم عنصر المقاومة الكربونية الموضحة أمامك بالشكل التالي مع الأخذ في الاعتبار الأبعاد المذكورة عليها :



اعتبر اسم النبيطة (اسم المكتبة الجديدة) هو رقمك التسلسلي بكشف الأسماء للفصل وقم بحفظه في مكتبة البرنامج بهذا الرقم
المطلوب رسم أكبر مقاس للتغليف

أجب عن الأسئلة التالية :
١-اكتب قيمة مستوى التبديل للأطراف الدبوسية swaplevel لرمز عنصر المقاومة

٢-اكتب تعريف direction كل طرف دبوسي لرمز عنصر المقاومة

٣-اكتب قيمة المسافة size بين خطوط الشبكة GRID المستخدمة عند رسم رمز هذا العنصر

ملحق (٤)

المراجع :

- دليل البرنامج
- الدليل التعليمي للبرنامج
- الخبرة
- موقع تسويق البرنامج CADSOFT

تـم بـحـمـد الله

ملاحظات

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ملاحظات

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

ملاحظات

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ملاحظات

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

ملاحظات

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

ملاحظات

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

ملاحظات

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

ملاحظات

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

PRINTED CIRCUIT BOARD DESIGN



عزيزي القاريء، هناك أربعة مراحل لتصنيع ألواح الدوائر المطبوعة وهى: مرحلة صناعة ألواح الدوائر المطبوعة الخام raw، ثم مرحلة تصميم الواح الدوائر المطبوعة، ثم مرحلة صناعة ألواح الدوائر المطبوعة العارية bare وهى المعروفة بمرحلة ما قبل التجميع، ثم مرحلة تجميع العناصر على ألواح الدوائر المطبوعة. وهذا الكتاب يتناول صناعة ألواح الدوائر المطبوعة مرحلة التصميم.

د.جابر الأبيض